

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Л.А. ШИРКИН, Т.А. ТРИФОНОВА

ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

Учебное пособие

Владимир 2011

УДК 614
ББК 51.1(2)0
Ш64

Рецензенты:

Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
кафедры географии почв факультета почвоведения
Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова
А.В. Иванов

доктор медицинских наук, профессор
директор учебно-научного медицинского центра
ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет»,
И.П. Бойко

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Ширкин, Л. А.

Ш64 Техногенные системы и экологический риск : учеб. пособие
Л. А. Ширкин, Т. А. Трифонова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир :
Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 79 с.
ISBN 978-5-9984-0162-6

Изложены основы методологии оценки рисков для здоровья и экологических рисков. Разработано при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.2.3.3/11515).

Предназначено для студентов IV курса дневной формы обучения экологических специальностей (направление 020800), изучающих дисциплину «Техногенные системы и экологический риск», а также может быть полезно для аспирантов и специалистов в области экологического контроля и мониторинга.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 4. Табл. 7. Библиогр.: 9 назв.

УДК 614
ББК 51.1(2)0

ISBN 978-5-9984-0162-6

© Владимирский государственный
университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины «Техногенные системы и экологический риск» – вооружить будущих специалистов техническими знаниями и практическими навыками в области оценки экологического риска, а также определение путей и средств снижения экологического риска до приемлемого уровня.

Основная цель лекционного курса «Техногенные системы и экологический риск» – дать студенту представление о величине антропогенного воздействия на окружающую среду и его последствиях, ознакомить с принципами количественной оценки возможных негативных последствий техногенных систем как от систематических воздействий техногенных систем на природу и человека, так и связанных с экстремальными аварийными ситуациями.

Курс «Техногенные системы и экологический риск» обобщает знания, полученные при изучении биологических, физических, химических, географических проблем экологии, показывает источники информации и методы её получения для всестороннего изучения экологии различных регионов. Используются данные о влиянии загрязнителей и физических воздействий на здоровье человека и биоту.

Данный курс углубляет и дополняет отдельные дисциплины общепрофессионального цикла, такие как «Экология человека» (с точки зрения защиты от антропогенного воздействия и расчёта риска для здоровья), «Основы природопользования» (концепция «приемлемого риска»). Курс тесно связан с эколого-химическими дисциплинами, такими как «Химия окружающей среды», «Промышленная экология», «Основы токсикологии», «Экотоксикология».

Изучение данного курса позволит будущим бакалаврам оценивать комплекс воздействий на человека и окружающую среду, меры по предотвращению ущерба, прогнозировать последствия аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Прил. 1 содержит основные термины и определения, необходимые для успешного усвоения курса.

1. ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Техногенная система (ландшафт) – система с практически полностью трансформированным биологическим круговоротом элементов, техногенные свойства полностью или явно преобладают над природными. Специфика техногенных, культурных систем определяется техногенной миграцией веществ, социальными процессами, хотя в них развиваются и все остальные виды миграции. Техногенные ландшафты подразделяются на антропогенно-природные, природно-антропогенные и полностью техногенные.

Состояние техногенных систем включает оценку риска природной среды (экологический риск) и промышленную безопасность (технический риск), в том числе и от чрезвычайных ситуаций.

Учитывая наибольшую распространенность вредного химического фактора, его многокомпонентность и вариабельность, с помощью методов анализа рисков получают интегральную оценку именно химического фактора (рис. 1); наряду с этим возможна также вероятностная оценка радиационного и других вредных факторов среды обитания. Используемый в методологиях оценки рисков для здоровья и экологических рисков терминологический аппарат представлен в прил. 1.

При определении степени приемлемости риска факторы риска сопоставляются с «нерисковыми» социально-экологическими и технико-экономическими факторами. Результатом подобного анализа риска является выбор одного варианта решения из трех: 1) риск приемлем полностью; 2) риск приемлем частично; 3) риск полностью неприемлем. В двух последних случаях устанавливаются пропорции контроля риска, которые заключаются в выборе меры, в наибольшей степени способствующей минимизации или устранению риска.

Выбор района исследования для оценки риска здоровью или экологического риска не является простой и однозначной задачей. При выборе района необходимо учитывать следующие факторы: 1) район должен быть выбран по своим физическим и промышленным (экономическим) показателям, а не по административным границам; 2) район следует выбирать на основе предприятий и систем, вызывающих обеспокоенность, или потенциальных областей, на которые может непосред-

ственно распространяться воздействие; 3) четкие границы нельзя провести до начала анализа опасности, так как априорно нельзя определить район, на который может распространяться воздействие; 4) необходимо рассматривать и учитывать различную деятельность в пределах воздушного и водного бассейнов; 5) системы транспорта, используемые для перевозки опасных материалов от объекта к объекту, могут потребовать рассмотрения районов, удаленных от оцениваемой области.

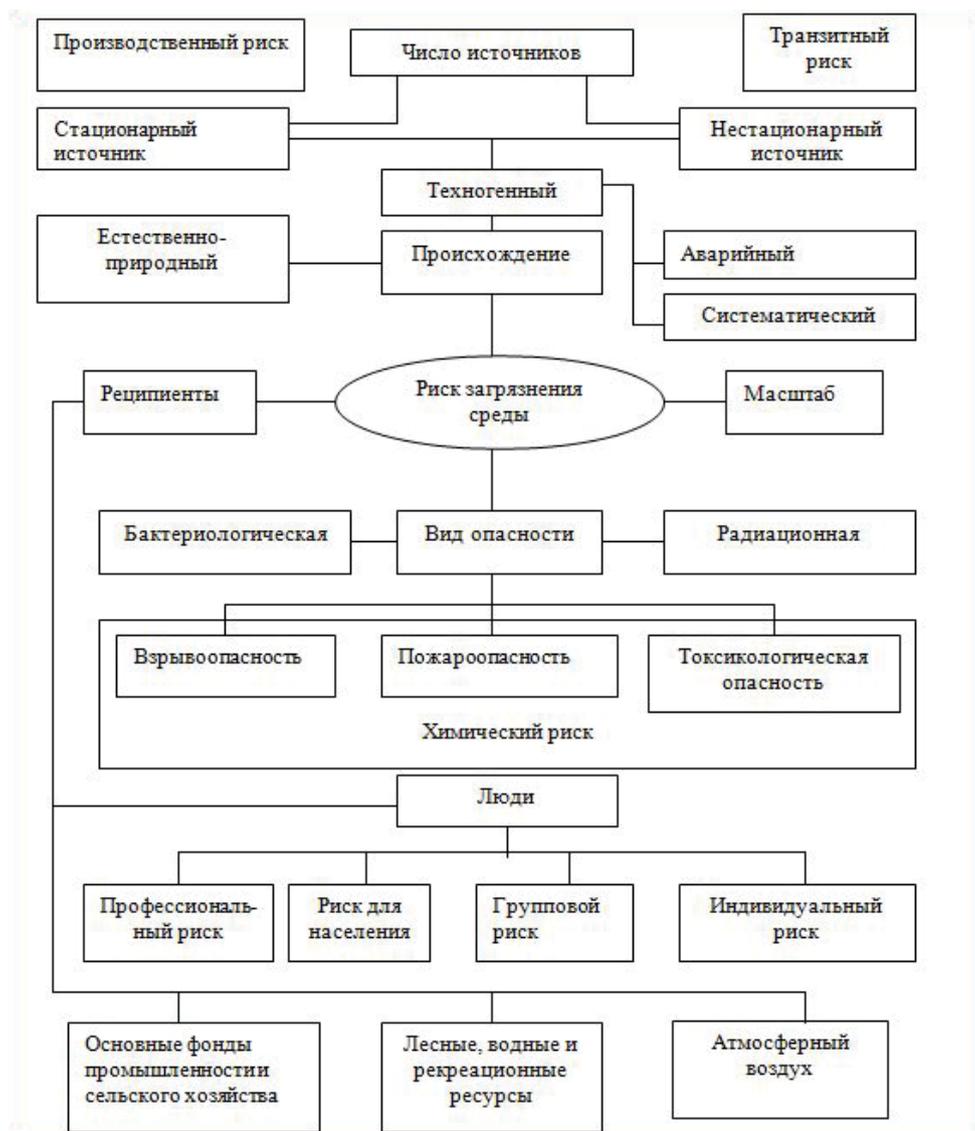


Рис. 1. Классификация рисков, связанных с загрязнением окружающей среды

С точки зрения принципов управления окружающей средой используется следующее ранжирование экологических проблем (рисков) в порядке их значимости:

1. Ущерб здоровью людей, выражающийся в показателях заболеваемости и смертности среди различных групп населения, которые связаны с факторами риска среды обитания.

2. Ущерб продуктивности природных ресурсов, который оценивается показателями загрязнения и использования возобновляемых природных ресурсов (воздух, вода, почва, лес и др.) и нерационального использования невозобновляемых ресурсов (минерально-сырьевых ресурсов и пр.).

3. Наличие источников и объектов повышенной экологической опасности, определяемых высоким уровнем загрязнения окружающей среды и риском возникновения экологических аварий и катастроф («горячих точек»).

4. Необратимый ущерб экосистемам, который характеризуется показателями численности и видового разнообразия флоры и фауны, а также численности популяций в зависимости от уровня загрязнения.

5. Ущерб комфортности окружающей среды, характеризующийся влиянием техногенных воздействий на эстетические, рекреационные, оздоровительные и другие качества природной среды.

6. Ущерб производственным мощностям, объектам жизнедеятельности, характеризующийся потерей рыночной стоимости основных фондов от загрязнения окружающей природной среды.

Среди принципов управления окружающей средой первым стоит принцип приоритета охраны жизни и здоровья человека. Состояние здоровья признаётся показателем конечного экологического эффекта воздействия природных и антропогенных факторов на людей. Таким образом, риск для здоровья является основным интегральным показателем состояния техногенной системы (ландшафта).

2. ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Оценка риска есть многоступенчатый процесс, нацеленный на выявление или прогноз вероятности неблагоприятного для здоровья воздействия на человека вредных веществ, загрязняющих среду обитания или производственную среду. Она опирается на разнообразную информацию об уровне этого загрязнения, токсических свойствах вещества, его миграции и превращениях в среде, путях воздействия на человека, особенностях подвергающейся воздействию человеческой популяции. В более узком (специальном) смысле имеется в виду специальная

методология «оценки риска» («risk assessment»), развитая Агентством США по охране окружающей среды (US EPA) и рекомендуемая международными организациями (ВОЗ, UNEP).

К достоинствам этой методологии относится, прежде всего, возможность выразить складывающееся на той или иной территории санитарное и экологическое неблагополучие не только путём сопоставления наблюдаемых или расчётных уровней её техногенного загрязнения с допустимыми, но и в величинах ожидаемого неблагоприятного ответа со стороны здоровья населения, снижение которого рассматривается как цель рекомендуемых управляющих воздействий и может быть оценено в качестве наиболее важного критерия их эффективности (в том числе экономической). Сравнительная оценка риска от разных факторов, при разных путях воздействия на население и для разных групп этого населения создаёт основу для ранжирования таких управляющих воздействий. Однако методология оценки риска не является альтернативой характеристики среды обитания на основе действующей системы гигиенических нормативов (ПДК, ОБУВ, ПДД), а служит ценным дополнением к ней и в условиях России в значительной мере должна опираться на неё.

Оценка риска для здоровья (Risk assessment) – процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных эффектов на основе научного анализа токсических свойств химического вещества и условий воздействия на человека и состоящий из четырех основных этапов: идентификация опасности, оценка зависимости «доза-ответ», оценка экспозиции (воздействия) и характеристика риска.

2.1. ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТИ

Опасность – это способность химического, физического, биологического агента или совокупности определенных факторов наносить вред живому организму, существующая независимо от условий воздействия. Риск в отличие от опасности является результатом фактического или потенциального воздействия химического соединения и зависит от экспозиции и специфики конкретных условий воздействия.

Идентификация опасности предусматривает установление на качественном уровне весомости доказательств способности того или иного агента вызывать определенные вредные эффекты у человека.

Наиболее доступными источниками информации о вредном действии анализируемых химических соединений являются аналитиче-

ские обзоры, отчеты, справочники, базы данных, содержащие итоговые заключения высококвалифицированных экспертов об опасных свойствах вещества.

Основной задачей этапа идентификации опасности является выбор приоритетных индикаторных химических веществ, изучение которых позволяет с достаточной надежностью охарактеризовать уровни риска нарушений состояния здоровья населения и источники его возникновения.

Этап идентификации опасности имеет скрининговый характер и предусматривает выявление всех источников загрязнения окружающей среды и возможного их воздействия на человека; идентификацию всех загрязняющих веществ; характеристику потенциальных вредных эффектов химических веществ и оценку научной доказанности возможности развития этих эффектов у человека; выявление приоритетных для последующего изучения химических соединений; установление вредных эффектов, вызванных приоритетными веществами при оцениваемых маршрутах воздействия (включая приоритетные загрязненные среды и пути поступления химических веществ в организм человека); продолжительности экспозиции (острые, подострые, хронические, пожизненные эффекты) и путей их поступления в организм человека (ингаляционный, пероральный, накожный).

На этапе идентификации опасности осуществляется оценка полноты и достоверности имеющихся данных об уровнях загрязнения различных объектов окружающей среды, определяются задачи по дополнительному сбору информации о фактических и/или моделируемых концентрациях химических веществ в различных средах, оценивается наличие сведений о количественных критериях, необходимых для последующего анализа риска для здоровья (референтные дозы и концентрации, факторы канцерогенного потенциала).

Идентификация опасности тесно связана с этапом оценки зависимости «доза-ответ», основная цель которого состоит в установлении количественных показателей опасности химического вещества, а также с этапом оценки экспозиции, проведение которого невозможно без предварительного анализа сведений о концентрациях химических веществ в различных объектах окружающей среды и выбора приоритетных загрязнений. В этом отношении идентификация опасности является не только начальным этапом оценки риска, но и ключевым, определяющим целесообразность проведения дальнейших исследований.

На этапе идентификации опасности с учетом цели и задач проводимых исследований, их материального обеспечения, наличия информации о концентрациях химических веществ в объектах окружающей среды или реальной возможности ее дополнительного получения, доступности данных о влиянии анализируемых химических соединений на здоровье человека уточняются цели и задачи оценки риска, окончательно формируется план проведения последующих исследований, устанавливаются неопределенности, способные повлиять на полноту и достоверность окончательных заключений и рекомендаций. Тем самым определяются границы оценки риска, характеризующие область применения полученных результатов.

Задачи этапа идентификации опасности:

1. Выявление всех источников загрязнения окружающей среды и возможного воздействия на человека.
2. Идентификация всех загрязняющих веществ.
3. Характеристика потенциальных вредных эффектов химических веществ и оценка научной доказанности возможности развития этих эффектов у человека.
4. Определение возможных маршрутов экспозиции.
5. Выявление приоритетных для последующего изучения химических соединений и маршрутов их воздействия, включая приоритетные загрязненные среды и пути поступления химических веществ в организм человека (табл. 1).

Таблица 1

Выявление приоритетных химических соединений для оценки риска

Критерии приоритетности химических веществ	Критерии исключения химических веществ из перечня приоритетных для оценки риска
1. Количество вещества, поступающее в окружающую среду	1. Отсутствие результатов измерений концентраций вещества или ненадежность имеющихся данных, если в рамках данного проекта невозможно никакими способами даже ориентировочно оценить уровни экспозиции
2. Персистентность, характеризуемая временем полусуществования химического вещества в объектах окружающей среды. К персистентным относят химические соединения с периодом полусуществования более 50 дней	2. Из предварительного общего перечня могут также исключаться неорганические соединения, концентрации которых ниже естественных фоновых уровней (например, железо, кальций и др.)

Окончание табл. 1

Критерии приоритетности химических веществ	Критерии исключения химических веществ из перечня приоритетных для оценки риска
3. Биоаккумуляция, отражающая способность вещества переходить из окружающей среды в биообъекты (например, водные организмы). К биоаккумуляционным относят химические соединения с коэффициентом биоаккумуляции для рыб более 500, а также вещества, у которых логарифм коэффициента распределения октанол/вода превышает 4,0	3. Обнаружение вещества только в одной или двух средах, в небольшом числе проб, в низких концентрациях по сравнению с референтными уровнями воздействия (гигиеническими стандартами), величина коэффициента опасности (<i>HQ</i>) существенно меньше 0,1, канцерогенный риск меньше 10^{-6} . При комбинированном действии с другими химическими соединениями, обладающими однородным действием и/или действующими на одни и те же органы или системы, исключение данного соединения не должно приводить к существенному снижению суммарного индекса опасности (<i>HI</i>)
4. Способность вещества к межсредовому распределению и транспорту, миграции из одной среды в другие среды. Одновременное загрязнение нескольких сред, пространственное распространение загрязнения	4. Отсутствие выраженной токсичности и подозрений в отношении канцерогенности для человека
5. Опасность для здоровья человека, включая отдаленные и необратимые эффекты	5. Отсутствие адекватных данных о биологическом действии вещества при невозможности хотя бы ориентировочного прогноза его вероятных показателей токсичности и опасности (например, путем анализа зависимостей «химическая структура - биологическая активность», экстраполяции с других путей поступления в организм или другой продолжительности воздействия и др.)
6. Токсичность для организмов в окружающей среде (водные и наземные животные и растения)	—
7. Другие эффекты: нарушение химических процессов в атмосфере, изменение реакции среды (рН), наличие необычных свойств, например, хелатообразующей способности, нарушение прозрачности атмосферы, цветение водоемов и др	—

6. Установление тех вредных эффектов, которые могут быть вызваны приоритетными веществами при оцениваемых маршрутах воздействия, продолжительности экспозиции (острые, подострые, хронические, пожизненные), и путей их поступления в организм человека.

7. Оценка полноты и достоверности имеющихся данных об уровнях загрязнения различных объектов окружающей среды, определение задач по дополнительному сбору информации о фактических или моделируемых концентрациях химических веществ в различных средах.

8. Оценка наличия сведений о количественных критериях, необходимых для последующего анализа риска для здоровья (референтные дозы и концентрации, факторы канцерогенного потенциала).

Анализ информации о показателях опасности химических канцерогенов основан на установлении степени доказанности канцерогенности исследуемого вещества для человека (табл. 2), выявлении условий реального проявления канцерогенного эффекта; оценке соответствия этих условий специфическим особенностям выбранного сценария воздействия.

Таблица 2

Классификация канцерогенов (US EPA, 1986)

Группа	Характеристика
A	Доказанный канцероген для человека
B	Доказанный канцероген для животных, возможный для человека
B ₁	Доказанный канцероген для животных, недостаточно эпидемиологических данных для доказательства канцерогенности для человека
B ₂	Доказанный канцероген для животных и нет эпидемиологических данных для доказательства канцерогенности для человека
C	Возможный канцероген для человека
D	Не классифицированный как канцероген для человека
E	Нет доказательств канцерогенности

На этапе идентификации опасности в качестве потенциальных химических канцерогенов рассматриваются вещества, относящиеся к группам 1, 2A, 2B по классификации МАИР.

Для химических канцерогенов необходимо установить наличие критериев для последующей оценки риска – факторов канцерогенного потенциала (SF) при пероральном (SF_o) и ингаляционном (SF_i) воздействии, а также показатели единичного риска (UR_i).

Анализ информации о показателях опасности химических неканцерогенов включает анализ наличия данных о референтных уровнях при острых или хронических воздействиях химических веществ, включенных в предварительный перечень приоритетных соединений. Одновременно необходимо указать те критические органы/системы и эффекты, которые соответствуют установленным референтным дозам/концентрациям. Также следует указать имеющиеся сведения об эпидемиологических критериях риска анализируемых веществ.

Источники данных о влиянии химических веществ на здоровье человека:

- Электронная база данных U.S. EPA IRIS.
- Таблицы HEAST.
- Минимальные уровни риска (ATSDR).
- Публикации ВОЗ.
- Канцерогенные потенциалы и референтные уровни воздействия, разработанные в ряде штатов (Калифорния, Массачусетс, регионы III, IV и др.).
- Материалы по оценке риска, использованные U.S. EPA для установления федеральных стандартов качества атмосферного воздуха.
- Значения эпидемиологических рисков (The Benefit and Costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990. Prepared for U.S. Congress by U.S. EPA, October, 1997).
- Токсикологические профили, разработанные различными агентствами и научно-исследовательскими организациями.
- Материалы отечественных публикаций.
- Отечественные и зарубежные компьютерные базы токсикологических данных.

9. Окончательная корректировка плана проведения исследований по оценке риска, а также установление тех неопределенностей, которые способны повлиять на полноту и достоверность окончательных заключений и рекомендаций. Тем самым определяются границы оценки риска, характеризующие ту область исследуемой проблемы, для которой с известной степенью достоверности применимы полученные результаты оценки риска.

2.2. ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА-ОТВЕТ»

Оценка зависимости «доза-ответ» – это процесс количественной характеристики токсикологической информации и установления связи между воздействующей дозой (концентрацией) загрязняющего вещества и случаями вредных эффектов в экспонируемой популяции.

Анализ зависимости «доза-ответ» предусматривает установление причинной обусловленности развития вредного эффекта при действии данного вещества, выявление наименьшей дозы, вызывающей развитие наблюдаемого эффекта, и определение интенсивности возрастания эффекта при увеличении дозы.

Международная методология оценки риска предполагает, что:

– канцерогенные эффекты при воздействии химических канцерогенов, обладающих генотоксическим действием, могут возникать при любой дозе, вызывающей инициирование повреждений генетического материала;

– для неканцерогенных веществ и канцерогенов с негенотоксическим механизмом действия предполагается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают.

Целями данного процесса являются обобщение и анализ всех имеющихся данных о гигиенических нормативах, безопасных уровнях воздействия (референтных дозах и концентрациях), критических органах/системах и вредных эффектах, а также оценка применимости этих данных для решения задач, поставленных в проекте по оценке риска.

Осуществляется также совместный анализ качественных данных о показателях опасности анализируемого химического соединения, полученных в процессе идентификации опасности, и сведений о количественных параметрах зависимостей «концентрация (доза)-ответ».

Оценка риска сугубо конкретна и определяет риск развития конкретных вредных эффектов или степень правдоподобия поражения определенных органов и систем организма человека.

Ориентироваться следует на тот вредный эффект, который возникает при действии наименьшей эффективной дозы (критический эффект, критические органы/системы). Такой подход используется при установлении референтных уровней воздействия химических веществ.

При этом, однако, не следует игнорировать и другие вредные эффекты, возникающие при дозах, превышающих пороговую.

Характеристиками зависимости «доза-ответ» (рис. 2), которые наиболее часто используются для оценки канцерогенного риска, а также рисков для здоровья при воздействии некоторых наиболее распространенных химических загрязнений, достаточно подробно изученных в эпидемиологических исследованиях, являются: 1) величина наклона зависимости, отражающая возрастание вероятности развития вредной реакции при увеличении дозы (концентрации) на 1 мг/кг или 1 мг/м³; 2) уровень воздействия, связанный с определенной вероятностью эффекта (показатели этой группы применяются для установления реперных, т.е. опорных, доз и концентраций).



Рис. 2. Зависимость «доза-ответ» для канцерогенов (С.М. Новиков, 2002)

Для оценки индивидуального пожизненного канцерогенного риска используется либо экспоненциальная, либо линейная модели.

Экспоненциальная модель оценки индивидуального канцерогенного риска:

$$R = 1 - \exp(-SF \cdot LADD), \quad (1)$$

где $LADD$ – среднесуточная пожизненная доза, мг/(кг · сут);

SF – наклон кривой «доза-ответ» в области низких доз, разработан в экспериментальных исследованиях на животных на основе использования линейной многоступенчатой модели и с учетом статистической экстраполяции с высоких доз на малые.

Линейная модель:

$$R = SF \cdot LADD. \quad (2)$$

Экспоненциальная модель является универсальной и работает на уровне больших и малых доз воздействия. Линейная модель применима только при малых экспозиционных нагрузках.

Получаемая величина канцерогенного риска показывает вероятность развития заболеваний рака при заданных уровнях дозовых нагрузок.

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов наиболее часто используются такие показатели зависимостей «доза-ответ», как максимальная недействующая доза (*NOAEL*) и минимальная доза (*LOAEL*), вызывающая пороговый эффект (рис. 3).

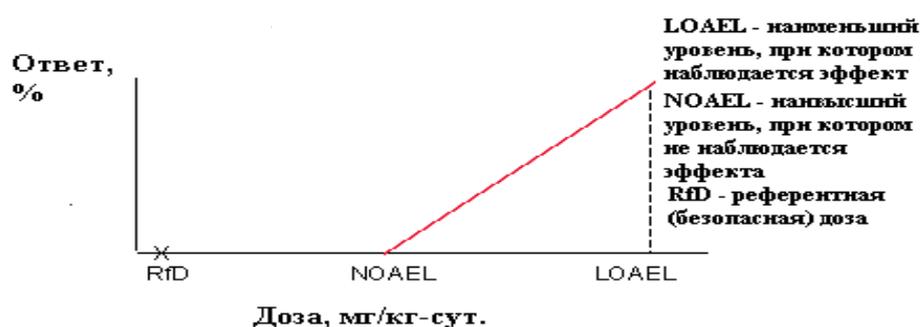


Рис. 3. Зависимость «доза-ответ» для неканцерогенных химических веществ в области малых доз (С.М. Новиков, 2002)

Для неканцерогенов и канцерогенов, обладающих негенотоксическим механизмом действия, эти показатели являются основой для установления уровней минимального риска – референтных доз (*RfD*) и концентраций (*RfC*) химических веществ. Их применение характеризует правдоподобие отсутствия вредных реакций. Превышение референтной (безопасной) дозы не обязательно связано с развитием вредного эффекта: чем выше воздействующая доза и чем больше она превосходит референтную, тем выше вероятность появления вредных ответов. Однако оценить эту вероятность при данном методическом подходе невозможно. В связи с этим итоговые характеристики оценки экспозиции на основе референтных доз и концентраций получили название «коэффициенты и индексы опасности» (*HQ*, *HI*). Слово «опасность» в названиях этих характеристик подчеркивает их отличие от традиционного понятия о риске как количественной мере вероятности развития вредного эффекта.

Для количественной оценки индивидуального неканцерогенного риска используется две модели.

Модель неканцерогенного риска хронических эффектов:

$$R = 1 - \exp(-\alpha \cdot ADD^\beta), \quad (3)$$

где ADD – среднесуточная доза, мг/(кг·сут); α , β – коэффициенты.

Пороговая модель оценки индивидуального неканцерогенного риска острых (немедленных) эффектов:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Prob} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (4)$$

где $Prob$ – пробит – величина, являющаяся функцией от среднесуточной дозы.

2.3. ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ

Оценка экспозиции (воздействия) представляет собой один из важнейших и, как правило, наиболее точных из всех четырех этапов исследования риска. Оценка воздействия – это междисциплинарное направление исследований, которое требует комплексного участия специалистов разного профиля: гигиенистов, токсикологов, эпидемиологов, химиков, профпатологов, клиницистов, метеорологов, математиков, инженеров, а также ученых в области социальных дисциплин. Оценка воздействия наравне с эпидемиологическими и токсикологическими исследованиями является определяющей при установлении риска для здоровья загрязнения окружающей среды и зависимостей «доза-ответ».

Экспозиция (воздействие) – контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом. Величина экспозиции определяется как измеренное или рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящегося в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (легкими, пищеварительным трактом, кожей) в течение какого-либо точно установленного времени. Экспозиция может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде (в единицах массы, например, миллиграммах), или как величина воздействия – масса вещества, отнесенная к единице времени (например, миллиграмм в день), или как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела (миллиграмм на килограмм в день).

На этапе оценки экспозиции проводится окончательное уточнение сценария воздействия, характеризующего путь (движение) вещества от места его образования до точки воздействия на человека. С учетом выбранного сценария осуществляется анализ имеющихся данных об

уровнях воздействия химических веществ на человека – концентрациях вещества во всех средах в анализируемой точке воздействия. Сценарий воздействия составляется исходя из целей проекта и концептуальной модели исследуемой территории.

Полный сценарий экспозиции, отражающий воздействие на население в реальных условиях, включает оценку поступления химических веществ в организм человека одновременно из разных сред (атмосферного воздуха, питьевой воды, воды поверхностного водоема, почвы, продуктов питания) различными путями (пероральным, ингаляционным, кожным). Такой тип экспозиции характеризуется как многосредовое и комплексное воздействие.

Количественная характеристика многосредового риска позволяет разработать оптимальные управленческие решения по его снижению на основе оценки всех контактирующих сред и путей поступления с учетом их долевого вклада в уровни воздействия на человека.

В зависимости от цели проекта, сценарий воздействия может предусматривать оценку поступления химических веществ только из одной среды (например, атмосферного воздуха, воздуха помещений, питьевой воды, продуктов питания и т.д.) и одним путем (например, ингаляционным). В некоторых случаях сценарий воздействия может ограничиваться оценкой поступления вредных агентов от определенных источников выбросов (например, только стационарных источников промышленных предприятий или автотранспорта).

Во всех случаях с целью создания наиболее благоприятных условий для последующего процесса управления риском на стадии оценки экспозиции обязательным является выявление: 1) конкретного места контакта человека с вредным агентом; относительного вклада каждого специфического источника загрязнения этим агентом в данном месте; 2) факторов окружающей среды, влияющих на характер воздействия, что позволяет обеспечить проведение эффективных и рациональных мероприятий по снижению риска.

Оценка экспозиции может рассматривать прошлые, настоящие и будущие воздействия с различными параметрами для каждой фазы, т.е. моделирование будущих, измерение настоящих и анализ суммирования биологических эффектов для прошлых воздействий.

В целом на этапе оценки экспозиции проводится анализ: 1) источников загрязнения окружающей среды; 2) механизмов образования и

поступления загрязнителей; 3) транспорта, накопления и трансформации химических веществ в различных объектах внешней среды; 4) воздействующих на человека сред и путей поступления химических веществ из каждой воздействующей среды; 5) концентраций загрязняющих веществ или продуктов их трансформации в различных средах в точке воздействия на человека (месте его пребывания); 6) населения и его чувствительных подгрупп, потенциально подверженных изучаемому воздействию.

Определение экспозиции является составной частью не только оценки риска, но и процесса управления риском, потому что позволяет установить:

- распределение концентраций во времени и пространстве в различных объектах окружающей среды;
- популяции или субпопуляции с высоким и низким риском;
- приоритетные, эффективные и наиболее экономичные программы и мероприятия по снижению риска;
- вклад в уровни воздействия от различных источников загрязнения;
- факторы, влияющие на попадание загрязнителей в окружающую среду, пути распространения и поступления вредных веществ в организм человека;
- соответствие применяемых мер по снижению загрязнения достижению безопасных для здоровья уровней;

Процесс оценки экспозиции обычно состоит из трех основных этапов.

Первый этап – характеристика окружающей обстановки, которая предусматривает анализ основных физических параметров исследуемой области и характеристику популяций, потенциально подверженных воздействию. Дается характеристика факторам риска. Так как риск заболевания зависит от условий, в которых действует причина, то в понятие факторов риска включаются элементы окружающей социальной и природной сред, которые сами по себе не вызывают заболеваний, но способствуют реализации действия причины заболеваемости.

Второй этап – идентификация маршрутов воздействия, источников загрязнения, потенциальных путей распространения и точек воздействия на человека. На данном этапе формулируется окончательный сценарий воздействия, который может включать несколько маршрутов (рис. 4, табл. 3).

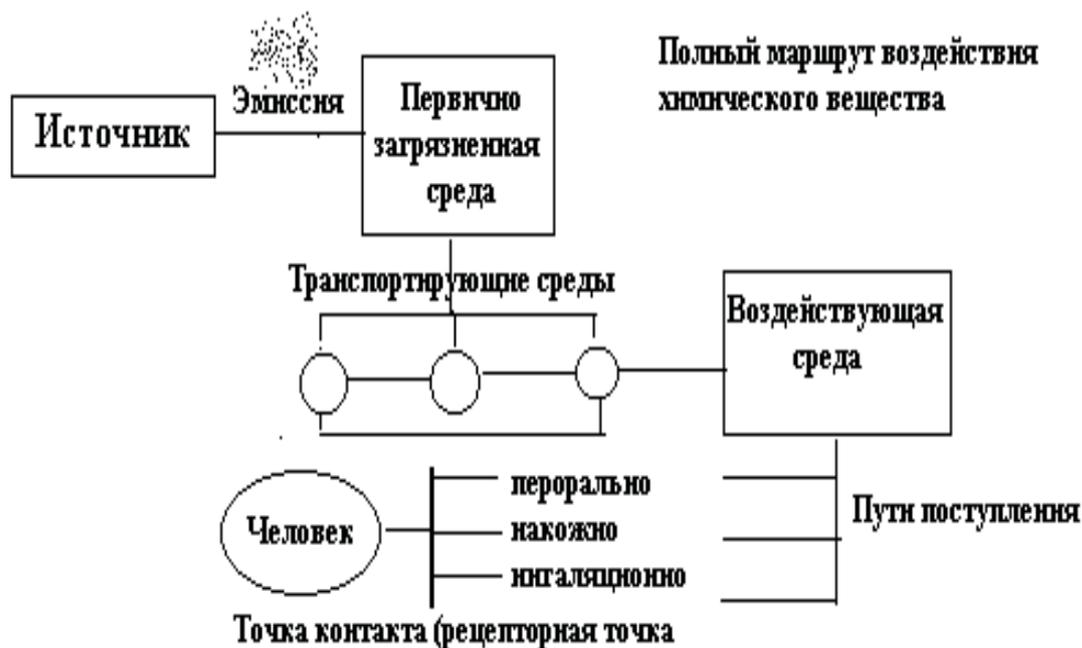


Рис. 4. Маршрут воздействия вещества (С.М. Новиков, 2002)

Таблица 3

Основные виды (сценарии) воздействий химических веществ

Воздействие	Число веществ	Число путей поступления	Число маршрутов воздействия и воздействующих сред
Изолированное	Одно	Одно	Один маршрут, одна среда
Агрегированное	Одно	Множество	Множество
Комбинированное	Множество	Одно	Один маршрут, одна среда
Кумулятивное	Множество	Множество	Множество

Сценарий воздействия может быть сформулирован согласно табл. 4.

Третий этап – количественная характеристика экспозиции предусматривает установление и оценку величины, частоты и продолжительности воздействий для каждого анализируемого пути, идентифицированного на втором этапе. Наиболее часто этот этап состоит из двух стадий: оценки воздействующих концентраций и расчета поступления. Стандартное уравнение для расчета среднесуточной дозы, или среднесуточного поступления, имеет следующий вид:

$$ADD = \frac{C \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} \quad (5)$$

где ADD – среднесуточная доза, мг/(кг · сут); C – концентрация вещества в объекте среды обитания, мг/м³ или мг/л и пр.; CR – скорость

поступления (объем ежедневно вдыхаемого воздуха, м³/день, или количество потребляемой питьевой воды, л/сут, и пр.); ED – продолжительность воздействия, лет; EF – частота воздействия, дни/год; BW – масса тела человека, кг; AT – период осреднения экспозиции, лет; 365 – число дней в году.

Таблица 4

Основные элементы анализа экспозиции

Элемент	Характеристика
Агент(ы)	Биологические, химические, физические, один агент, множество агентов, смеси
Источник(и)	Антропогенный/неантропогенный, поверхностный/точечный, стационарный/подвижный, внутри помещения/вне помещения
Транспорт/накопление	Воздух, вода, почва, пыль, пищевые продукты и др.
Маршрут(ы) воздействия	Потребление загрязненной пищи, вдыхание воздуха на производстве и др.
Воздействующая концентрация	кг/кг (пищевые продукты), мг/л (вода), мкг/м ³ (воздух)
Пути поступления	Ингаляция, кожный контакт, глотание, множественные пути
Продолжительность экспозиции	Секунды, минуты, часы, дни, недели, месяцы, годы, на протяжении жизни
Частота воздействия	Постоянная, интермиттирующая, циклическая, редкая, случайная
Экспонируемая популяция	Производственная/непроизводственная, жители/визитеры, отдельные подгруппы, индивидуумы
Географический охват	Связь с территорией/связь с источником, локальный, региональный, национальный, международный, глобальный
Период оценки	Прошрое, настоящее, будущее, тренды

Оценка экспозиции проводится отдельно для канцерогенов и неканцерогенов с использованием таблиц стандартных значений факторов экспозиции (прил. 2).

2.4. ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Характеристика риска интегрирует данные об опасности анализируемых химических веществ, величине экспозиции, параметрах зависимости «доза-ответ», полученные на всех предшествующих этапах ис-

следований, с целью количественной и качественной оценки риска, выявления и оценки сравнительной значимости существующих проблем для здоровья населения.

На этом этапе осуществляется рассмотрение всех предположений, научных гипотез и неопределенностей, которые способны исказить результаты анализа риска и конечные выводы.

Характеристика риска является связующим звеном между оценкой риска для здоровья и управлением риском.

Характеристика риска осуществляется в соответствии со следующими этапами: 1) обобщение результатов оценки экспозиции и зависимостей «доза (концентрация)-ответ»; 2) расчет значений риска для отдельных маршрутов и путей поступления химических веществ; 3) расчет рисков для условий агрегированной и кумулятивной экспозиции; 4) выявление и анализ неопределенностей оценки риска; 5) обобщение результатов оценки риска и представление полученных данных лицам, участвующим в управлении рисками.

Канцерогенные риски подчиняются правилу аддитивности, т.е. рассчитанные по каждому из веществ индивидуальные канцерогенные риски можно суммировать по формуле:

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i . \quad (6)$$

Суммация может проводиться по веществам, поражаемым органам и системам и др.

Неканцерогенные риски, рассчитанные по отдельным веществам, не подчиняются правилу аддитивности. Их сложение может проводиться только для веществ, обладающих сходным механизмом действия, которые оказывают неблагоприятное влияние на одни и те же органы и системы организма. «Сложение» проводится по правилу умножения рисков:

$$R_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) . \quad (7)$$

Согласно правилу умножения вероятностей (рисков) в качестве множителя выступают не величины риска здоровью, а значения, характеризующие вероятность его отсутствия.

Ведущими принципами характеристики риска являются:

– интеграция информации, полученной в процессе идентификации опасности, оценки экспозиции и зависимости «доза-ответ»;

– характеристика и обсуждение факторов неопределенностей и варибельности результатов;

– представление информации о характеристиках риска в понятной и доказательной форме с указанием на достоверность и ограничения характеристик риска;

– величина условно принимаемого приемлемого риска – вероятность наступления события, негативные последствия которого настолько незначительны, что ради получаемой выгоды от фактора риска человек, группа людей, или общество в целом готовы пойти на этот риск.

При оценке уровней риска необходимо руководствоваться следующими критериями (табл. 5).

Первый диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший 1×10^{-6} , что соответствует 1 дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Второй диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$) соответствует зоне условно приемлемого (допустимого) риска. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом. Уровни допустимого риска подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Третий диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$) приемлем для профессионалов и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий в условиях населенных мест.

Четвертый диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или больший $1 \cdot 10^{-3}$) неприемлем ни для населения, ни для профессионалов. При его достижении необходимо проведение экстренных оздоровительных и других мероприятий по снижению риска.

Классификация уровней риска

Уровень риска	Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск	Коэффициент опасности развития неканцерогенных эффектов (HQ)
Чрезвычайно высокий	10^{-1}	Больше 10
Высокий	$10^{-1} - 10^{-3}$	5 – 10
Средний	$10^{-3} - 10^{-4}$	1 – 5
Низкий	$10^{-4} - 10^{-6}$	0,1 – 1,0
Минимальный	Менее 10^{-6}	Менее 0,1

Представленные уровни риска могут использоваться для установления целевых уровней риска, характеризующих те значения риска, которые должны быть достигнуты в результате проведения оздоровительных мероприятий по снижению рисков. В мировой практике таким уровнем обычно является пожизненный индивидуальный риск ($1 \cdot 10^{-6}$). Другой важный аспект применения концепции приемлемости риска связан с установлением региональных уровней минимального риска – таких концентраций вредного химического вещества в данном объекте среды обитания человека, воздействие которых с учетом особенностей распределения общей региональной химической нагрузки не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья наиболее чувствительных групп населения и не требует немедленного проведения мероприятий по снижению риска. Для пожизненного индивидуального риска развития тяжелого заболевания или смерти данный уровень не может быть выше $1 \cdot 10^{-5}$, а коэффициент опасности для неканцерогенных эффектов – больше 1,0.

3. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Экологический риск (Ecological risk) – вероятность развития у растений и животных (кроме человека) неблагоприятных эффектов, обусловленных воздействием факторов окружающей среды. Это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной или иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера (статья 1 Федерального закона “Об охране окружающей среды” от 10 января 2002 г., № 7-ФЗ).

Оценка экологических рисков основывается на принципах и методах экотоксикологии. Экотоксикология занимается выяснением механизмов (особенно биохимических и физиологических) токсического действия антропогенных факторов на живые организмы в природной среде, изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распространение и трансформацию в окружающей среде, действие на живые организмы. Центральным элементом всех экотоксикологических исследований является учение об экотоксичности, а основные рассматриваемые вопросы – характеристика ксенобиотического профиля среды обитания, проблемы экотоксикокинетики, экотоксикодинамики, экотоксикометрии.

3.1. КСЕНОБИОТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ СРЕДЫ

Ксенобиотический профиль – совокупность чужеродных веществ, содержащихся в окружающей среде (воде, почве, воздухе и живых организмах) в форме (агрегатном состоянии), позволяющей им вступать в химические и физико-химические взаимодействия с биологическими объектами экосистемы. Ксенобиотический профиль следует рассматривать как один из важнейших факторов внешней среды (наряду с температурой, освещенностью, влажностью, трофическими условиями и т.д.), который может быть описан качественными и количественными характеристиками.

Для экотоксикологии интерес представляют лишь молекулы, обладающие **биодоступностью**. Как правило, это соединения, находящиеся в газообразном или жидком состоянии, в форме водных растворов, адсорбированные на частицах почвы и различных поверхностях, твердые вещества, но в виде мелко дисперсной пыли (размер частиц менее 50 мкм), и, наконец, вещества, поступающие в организм с пищей.

Ксенобиотические профили среды, сформировавшиеся в ходе эволюционных процессов, можно назвать **естественными ксенобиотическими профилями**. Они различны в разных регионах Земли. Биоценозы, существующие в этих регионах (биотопах), в той или иной степени адаптированы к соответствующим естественным ксенобиотическим профилям.

Экополлютант – химическое вещество, накапливающееся в среде в несвойственных ей количествах и являющиеся причиной изменения естественного ксенобиотического профиля.

Далеко не всегда он приводит к пагубным последствиям для живой природы и населения. Лишь экополлютант, накопившийся в среде в количестве, достаточном для инициации токсического процесса в биоценозе (на любом уровне организации живой материи), может быть обозначен как **экотоксикант**.

Вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, характеризуются в водной среде следующими показателями острой токсичности: 1) средняя смертельная концентрация при воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 мг/л; 2) средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 мг/л; 3) средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 48 часов не более 10 мг/л.

Одна из сложнейших практических задач экотоксикологии - определение количественных параметров, при которых экополлютант трансформируется в экотоксикант. При её решении необходимо учитывать, что в реальных условиях на биоценоз действует весь ксенобиотический профиль среды, модифицируя при этом биологическую активность отдельного поллютанта. Поэтому в разных регионах (разные ксенобиотические профили, различные биоценозы) количественные параметры трансформации поллютанта в экотоксикант строго говоря различны.

3.2. ЭКОТОКСИКОКИНЕТИКА

Экотоксикокинетика – раздел экотоксикологии, рассматривающий поведение ксенобиотиков в окружающей среде: источники их появления; распределение в абиотических и биотических элементах окружающей среды; превращение ксенобиотика в среде обитания; элиминацию из окружающей среды.

Формирование ксенобиотического профиля. К числу природных источников биодоступных ксенобиотиков, по данным ВОЗ (1992), относятся переносимые ветром частицы пыли, аэрозоль морской соли, вулканическая деятельность, лесные пожары, биогенные частицы, биогенные летучие вещества. Другим источником ксенобиотиков в среде, значение которого неуклонно возрастает, является деятельность человека.

Персистирование. Многочисленные абиотические (происходящие без участия живых организмов) и биотические (происходящие с уча-

ствием живых организмов) процессы в окружающей среде, направлены на элиминацию (удаление) экотоллютантов.

Вещества, оказывающиеся устойчивыми к процессам разрушения и, вследствие этого длительно персистирующие в окружающей среде, как правило, являются потенциально опасными экотоксикантами (табл. 6).

Таблица 6

Периоды полуразрушения

Поллютант	Период полуразрушения	Среда
ДДТ	10 лет	Почва
ТХДД	9 лет	Почва
Атразин	25 мес	Вода (рН 7,0)
Бензоперилен	14 мес	Почва
Фенантрен	138 дней	Почва
Карбофуран	45 дней	Вода (рН 7,0)
Фосфорилтиохолины	21 день	Почва (t +15 С°)
Иприт	7 дней	Почва (t +15 С°)
Зарин	4 ч	Почва (t +15 С°)

К персистентным веществам относятся тяжелые металлы (свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, сурьма, ртуть, мышьяк, хром), полициклические полигалогенированные углеводороды (полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны, полихлорированные бифенилы и т.д.), некоторые хлорорганические пестициды (ДДТ, гексахлоран, алдрин, линдан и т.д.) и многие другие вещества.

Трансформация. Подавляющее большинство веществ подвергается в окружающей среде различным превращениям. Характер и скорость этих превращений определяют их стойкость.

Абиотическая трансформация. На стойкость вещества в окружающей среде влияет большое количество процессов. Основными являются фотолиз (разрушение под влиянием света), гидролиз, окисление.

В результате превращения химических веществ в окружающей среде образуются новые вещества. При этом их токсичность иногда может быть выше, чем у исходного агента.

Биотическая трансформация. Абиотическое разрушение химических веществ обычно проходит с малой скоростью. Значительно быстрее деградируют ксенобиотики при участии биоты, особенно микроорганизмов (главным образом бактерий и грибов), которые используют их как питательные вещества. Процесс биотического разрушения

идет при участии энзимов. В основе биопревращений веществ лежат процессы окисления, гидролиза, дегалогенирования, расщепления циклических структур молекулы, отщепление алкильных радикалов (деалкилирование) и т.д. Деградация соединения может завершаться его полным разрушением, т.е. минерализацией (образование воды, двуокиси углерода, других простых соединений). Однако возможно образование промежуточных продуктов биотрансформации веществ, обладающих порой более высокой токсичностью, чем исходный агент. Так, превращение неорганических соединений ртути фитопланктоном может приводить к образованию более токсичных ртутьорганических соединений, в частности метилртути.

Процессы элиминации, не связанные с разрушением, – миграция веществ.

Биоаккумуляция (Bioaccumulation) – способность вещества переходить из окружающей среды в биообъекты (например, водные организмы). К биоаккумулирующим относят химические соединения с коэффициентом (фактором) биоаккумуляции для рыб более 500, а также вещества, у которых логарифм коэффициента распределения октанол-вода превышает 4,0.

Склонность экотоксикантов к биоаккумуляции зависит от ряда факторов:

1. Персистирование ксенобиотика в среде. Степень накопления вещества в организме в конечном счете определяется его содержанием в среде. Вещества, быстро элиминирующиеся, в целом плохо накапливаются в организме. Исключением являются условия, при которых поллютант постоянно привносится в окружающую среду (регионы близ производств и т.д.).

2. Токсикокинетические процессы. Наибольшей способностью к биоаккумуляции обладают жирорастворимые (липофильные) вещества, медленно метаболизирующие в организме. Жировая ткань, как правило, – основное место длительного депонирования ксенобиотиков.

3. Межвидовые различия.

Биомагнификация. Химические вещества могут перемещаться по пищевым цепям от организмов-жертв, к организмам-консументам. Для высоко липофильных веществ это перемещение может сопровождаться увеличением концентрации токсиканта в тканях каждого последующего организма – звена пищевой цепи. Этот феномен называется **биомагнификацией**.

3.3. ЭКОТОКСИКОДИНАМИКА

Экотоксикодинамика – раздел экотоксикологии, рассматривающий конкретные механизмы развития и формы токсического процесса, вызванного действием экотоксикантов на биоценоз и/или отдельные виды, его составляющие.

Механизмы, посредством которых вещества могут вызывать неблагоприятные эффекты в биогеоценозах, многочисленны и, вероятно, в каждом конкретном случае уникальны. Вместе с тем они поддаются классификации. Так, можно выделить прямое, опосредованное и смешанное действие экотоксикантов.

Прямое действие – это непосредственное поражение организмов определенной популяции или нескольких популяций (биоценоза) экотоксикантом или совокупностью экотоксикантов данного ксенобиотического профиля среды. Примером веществ с подобным механизмом действия на человека является кадмий. Этот металл накапливается в организме даже при минимальном его содержании в среде и при достижении критической концентрации инициирует токсический процесс, проявляющийся поражением дыхательной системы, почек, иммуносупрессией и канцерогенезом.

Опосредованное – это действие ксенобиотического профиля среды на биотические или абиотические элементы среды обитания популяции, в результате которого условия и ресурсы среды перестают быть оптимальными для её существования.

Многие токсиканты способны оказывать как прямое, так и опосредованное, т.е. **смешанное действие**. Примером веществ, обладающих смешанным механизмом экотоксического действия, являются в частности, гербициды.

Экотоксичность – это способность данного ксенобиотического профиля среды вызывать неблагоприятные эффекты в соответствующем биоценозе.

Экотоксические эффекты целесообразно рассматривать на уровне:

– организма (аутэкотоксические), проявляются снижением резистентности к другим действующим факторам среды, понижением активности, заболеваниями, гибелью организма, канцерогенезом, нарушениями репродуктивных функций и т.д.;

– популяции (демэкотоксические), проявляются гибелью популяции, ростом заболеваемости и смертности, уменьшением рождаемо-

сти, увеличением числа врожденных дефектов развития, нарушением демографических характеристик (соотношение возрастов, полов и т.д.), изменением средней продолжительности жизни, культурной деградацией;

– биогеоценоза (синэкотоксические), проявляются изменением популяционного спектра ценоза вплоть до исчезновения отдельных видов и появления новых, не свойственных данному биоценозу, нарушением межвидовых взаимоотношений.

В случае оценки экотоксичности лишь одного вещества в отношении представителей только одного вида живых существ в полной мере могут быть использованы качественные и количественные характеристики, принятые в классической токсикологии (величины острой, подострой, хронической токсичности, дозы и концентрации, вызывающие мутагенное, канцерогенное и иные виды эффектов и т.д.). Однако в более сложных системах экотоксичность цифрами (количественно) не измеряется, она характеризуется целым рядом показателей качественно или полуколичественно через понятие «экологический риск».

В зависимости от продолжительности действия экотоксикантов на экосистему можно говорить об **острой** и **хронической** экотоксичности.

В большинстве случаев приходится иметь дело со случаями хронической экотоксичности. По сути, хроническое воздействие экополлютантов – основная проблема экологии.

Механизмы экотоксичности:

1. Прямое действие токсикантов, приводящее к массовой гибели представителей чувствительных видов.

2. Прямое действие ксенобиотика, приводящее к развитию аллобиотических состояний и специальных форм токсического процесса (иммуносупрессивное действие, канцерогенез, снижение репродуктивных возможностей).

3. Эмбриотоксическое действие экополлютантов.

4. Прямое действие продукта биотрансформации поллютанта с необычным эффектом.

5. Опосредованное действие путем сокращения пищевых ресурсов среды обитания.

6. Взрыв численности популяции вследствие уничтожения вида-конкурента.

3.4. ЭКОТОКСИКОМЕТРИЯ

Экотоксикометрия – раздел экотоксикологии, в рамках которого рассматриваются методические приемы, позволяющие оценить (перспективно или ретроспективно) экотоксичность ксенобиотиков.

Все виды классических количественных токсикологических исследований в полной мере используются для определения экотоксичности ксенобиотиков.

Острая токсичность экополлютантов определяется экспериментально на нескольких видах, являющихся представителями различных уровней трофической организации в экосистеме (водоросли, растения, беспозвоночные, рыбы, птицы, млекопитающие). Агентство по защите окружающей среды США требует при определении критериев качества воды, содержащей некий токсикант, определения его токсичности, по крайней мере, на 8 различных видах пресноводных и морских организмов (16 тестов).

Экотоксичные вещества (отходы) – вещества или отходы, которые в случае попадания в окружающую среду представляют или могут немедленно или со временем представить угрозу для окружающей среды в результате биоаккумуляции и/или оказывать токсичное воздействие на биотические системы. Экотоксичность зависит не только от токсичности компонентов вещества/отхода, но и от степени их подвижности в ландшафтах (экосистемах). Основными механизмами попадания компонентов отхода в ландшафты являются испарение летучих веществ и выщелачивание. Любой тест на экотоксичность должен включать выщелачивание, которое проводится, как правило, водой с $\text{pH} = 5,6\text{--}7,0$ (вода, уравновешенная с атмосферным CO_2). Воду берут в соотношении 10:1 к массе отхода. Экстракт впоследствии либо подвергается химическому анализу на содержание токсичных компонентов (практика Агентства по охране окружающей среды США), либо исследуется на биологических тест-объектах (практика ЕС). В качестве тест-объектов используются дафнии или одноклеточные водоросли.

При определении экологических норм следует опираться на количественные оценки, связанные с адаптивными возможностями экосистем к воздействию или к комплексу воздействий. При принятии такой точки зрения возникает необходимость поиска аналитической зависимости между действующим внешним воздействием R на систему и реакцией системы E на это воздействие (табл. 7).

*Аналитические выражения зависимостей реакций экосистем (E)
на внешнее воздействие (R) (Никаноров и др., 1999)*

Закон	Аналитическое выражение
Вебера – Фехнера	$E = C \cdot \lg(R/R_0)$
Стивенса	$\ln E = k \cdot \ln R$
Забродина	$dE/E^z = \eta \cdot dR/R$
E-функции	$E = C \cdot R^\alpha (-\ln R)^\beta$

Примечание. R_0 – некоторое пороговое воздействие, при котором система начинает реагировать на воздействие; $C, k, z, \eta, \alpha, \beta$ – константы, характеризующие специфику исследуемой системы.

В обнаружении и оценке риска (опасности) большую роль играют моделирование поведения химикатов в окружающей среде и экспериментальное выявление их токсических свойств по отношению к различным звеньям экосистем.

Оценка экологического риска (Ecological risk assessment) – процесс определения вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны биогеоценоза в результате изменений различных характеристик среды. Важным элементом оценки экологического риска является выявление опасности, связанной с возможным массивным воздействием на среду различных химических веществ (изменение ксенобиотического профиля среды) и определение вероятности такого воздействия. Как правило, оценка экологического риска проводится в форме заказного исследования, выполняемого с целью получения информации, имеющей перспективный или ретроспективный характер и необходимой заказчику (законодательные, управленческие структуры и т.д.) для принятия административных решений. Поэтому в отличие от научных экотоксикологических исследований, в ходе которых рассматриваются объективные закономерности реакций биоценоза на действие стрессора, при определении экологического риска, в качестве объектов среды, подлежащих изучению и защите, могут выступать характеристики биосистемы, имеющие антропоцентрическое значение, а порой и отдельные элементы окружающей человека природы, субъективно воспринимаемые общественным мнением как весьма значимые. Методология оценки экологического риска до конца не разработана. В подавляющем большинстве случаев её выводы носят качественный, описательный

характер. Попытки внедрить методы количественной оценки сталкиваются с серьезными трудностями. Это обусловлено сложностью экосистем, комплексностью воздействия на среду стрессоров (не только химической, но и физической и биологической природы), недостаточной изученностью характеристик экотоксической опасности большого количества ксенобиотиков, используемых человеком и т.д.

Поскольку процедура оценки риска сложна и в значительной степени характеризуется неопределенностью, с целью стандартизации исследований U.S. EPA разработало и утвердило план проведения таких работ. Он содержит описание последовательности решения задачи, организации и анализа данных, учета неопределенностей и допущений с целью получения в какой-то степени унифицированной приблизительной информации о вероятности развития неблагоприятных экологических эффектов. Согласно этому плану оценка экологического риска включает этапы:

1. Формулирование проблемы и разработка плана анализа ситуации:
 - совместное обсуждение целей исследования специалистами по оценке риска и лицами, принимающими решение;
 - определение характеристик так называемых стрессоров, под которыми подразумеваются не только потенциально опасные вещества, но и энергетические поля, ионизирующая радиация и даже резкое изменение температуры и др.;
 - идентификация экосистемы, подверженной риску;
 - идентификация возможных экологических эффектов;
 - выбор значимой меры ответа, используемой в качестве индекса влияния на организм или экосистему в целом;
 - выбор концептуальной модели риска, в рамках которой анализируются исходные данные;
 - оценка надежности данных, верификация точности модели;
 - разработка и проведение программы мониторинга.
2. Анализ экологической ситуации:
 - характеристика условий и уровней воздействия;
 - характеристика экологических эффектов;
 - анализ экологических ответов с установлением профилей «доза-ответ»;
 - проверка надежности используемых данных.
3. Характеристика экологического риска:

- интегрирование предыдущей информации с определением коэффициентов риска;
- описание риска;
- интерпретация значимости экологических эффектов;
- передача информации по характеристике риска с анализом неопределенностей для разработки управленческих решений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под техногенной системой?
2. Как классифицируют риски, связанные с загрязнением окружающей среды?
3. Какие факторы определяют район оценки рисков?
4. Как ранжируют экологические проблемы (риски) с точки зрения принципов управления окружающей средой?
5. Что понимают под риском для здоровья и какие процедуры входят в анализ рисков для здоровья?
6. Как соотносятся методология анализа рисков для здоровья и современная система гигиенического нормирования?
7. Основные задачи этапа идентификации опасности.
8. Как соотносятся понятия «риск» и «опасность»?
9. Каковы критерии приоритетности химических веществ в процессе идентификации опасности?
10. Какой биологический смысл имеет коэффициент распределения в системе «октанол – вода»?
11. Как классифицируют канцерогены?
12. Оценка зависимости «доза – ответ» как этап оценки риска.
13. Какие зависимости описывают канцерогенные эффекты? Количественные критерии, используемые для оценки канцерогенных рисков.
14. Какие зависимости используют для описания неканцерогенных эффектов? Неканцерогенные риски хронических и острых эффектов.
15. Какие количественные критерии используют для оценки неканцерогенных рисков?
16. Оценка экспозиции как этап оценки риска. Основные элементы анализа экспозиции.

17. Каковы основные виды воздействия химических веществ?
18. Что понимают под сценарием экспозиции и маршрутом воздействия веществ?
19. Что включает в себя количественная оценка экспозиции? Стандартное уравнение для оценки экспозиции.
20. Характеристика риска для здоровья как этап оценки риска. Каковы основные процедуры характеристики риска?
21. Как производится суммация канцерогенных и неканцерогенных рисков?
22. Концепция приемлемого риска. Как классифицируют уровни риска?
23. Сравнительная оценка рисков для здоровья.
24. Понятие экологического риска. Ксенобиотики и ксенобиотический профиль.
25. Как соотносятся понятия «ксенобиотик», «экополлютант» и «экотоксикант»?
26. Экотоксикокинетика ксенобиотиков: персистирование, трансформация, элиминация, биоаккумуляция, биомагнификация.
27. Основные показатели, по которым оценивается биоаккумуляция. Какие факторы определяют биоаккумуляцию экотоксикантов?
28. Экотоксикодинамика ксенобиотиков. Как соотносятся понятия токсичности и экотоксичности?
29. Каковы основные механизмы экотоксичности? Острая и хроническая экотоксичность.
30. Экотоксикометрия как элемент оценки экологических рисков.
31. Экотоксичные вещества (отходы) и методы оценки экотоксичности.
32. Основные аналитические выражения реакций экосистем.
33. Что понимают под оценкой экологического риска?
34. Каковы основные этапы оценки экологического риска?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное издание дает представление о возможности поэтапного многоуровневого анализа риска при решении экологических проблем. С помощью материалов, полученных на исходном этапе оценки риска, может быть проделан более глубокий сравнительный анализ, связанный с определением и сопоставлением различных опасностей. Комплексное рассмотрение проблем загрязнения окружающей среды и воздействие на здоровье населения могут осуществляться в рамках регионального анализа риска, который позволяет расставить приоритеты с учетом всех региональных особенностей и определить последовательность дальнейших действий. Основной вопрос, который стоит перед лицами, принимающими решения при проведении экологической и здравоохранительной политики, – это выбор приоритетов, т.е. наиболее серьезных проблем и экономически целесообразных путей их решения. Научно-обоснованная база для принятия решений может быть подготовлена с использованием подходов, изложенных в представленных материалах.

В большинстве регионов, как правило, известны основные источники опасности для населения и окружающей среды. Однако нет полной ясности в вопросе о мере опасности и о прогнозе последствий при нормальном функционировании или в условиях чрезвычайных ситуаций. Неясно, до какой степени следует снижать возможную опасность (или повышать безопасность) и сколько для этих целей требуется средств. Таким образом, очевидна необходимость разработки долгосрочных экологических программ с учетом оценки рисков и управления ими.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Агрегированное воздействие (Aggregate exposure) – воздействие одной примеси (агента), оцениваемое через все возможные пути поступления, маршруты и воздействующие среды.

Агрегированный риск (Aggregate risk) – вероятность развития вредного для здоровья эффекта в результате поступления одного химического вещества в организм человека всеми возможными путями.

Аллергический риск – вероятность увеличения частоты бронхиальной астмы, атопических дерматитов и тому подобного в связи с воздействием аллергических факторов.

Анализ неопределенностей – детальное исследование систематических и случайных ошибок измерений или оценок в концепции риска. Основными причинами неопределенностей при оценке риска здоровью являются: 1) неопределенность, вызванная проблемами статистической выборки; 2) неопределенность в моделях воздействия или моделях «доза-эффект», особенно на уровне доз малой интенсивности; 3) неопределенность, связанная с формированием исходной выборки баз данных; 4) неопределенность, вызванная неполнотой совпадения с реальностью использованных моделей.

Анализ риска для здоровья (Risk analysis) – аналитический процесс для получения информации, необходимой для предупреждения негативных последствий для здоровья и жизни человека, состоящий из трех компонентов: оценки риска, управления риском и распространения информации о риске. Анализ риска для здоровья – это также процесс сбора, анализа и сравнения прогнозируемых параметров состояния здоровья отдельного лица с параметрами стандартной возрастной группы, что позволяет предсказать вероятность того, что у этого лица может преждевременно появиться какая-либо проблема со здоровьем, связанная с высоким уровнем заболеваемости и смертности в группе.

Аналитическая эпидемиология – исследования с применением методов ретроспективного и проспективного анализа гипотез, сформулированных для объяснения результатов проведенных наблюдений.

Аналитическое эколого-эпидемиологическое исследование – изучение, направленное на оценку причинной природы связи между экспозицией вредных факторов окружающей среды и возникающих биологических эффектов со стороны здоровья человека, путем проверки научных гипотез.

Атрибутивный (добавочный) риск (Attributable risk) – 1) разница между риском проявления вредного эффекта в присутствии неблагоприятных факторов окружающей среды и риском при их отсутствии; 2) показатель смертности, заболеваемости или других отклонений состояния здоровья населения в экспонированной популяции, который может быть связан с данным воздействием, обычно определяется путем вычитания частоты случаев для неэкспонированных лиц из существующего показателя для экспонированных индивидуумов. Добавочный риск – это дополнительные случаи развития заболевания, обусловленные воздействием фактора риска. Учитывая способ вычисления добавочного риска, его также называют разницей рисков (risk difference), или непосредственным риском. Атрибутивный (добавочный) риск, устанавливаемый по эпидемиологическим данным, определяет долю экологически обусловленного риска на изучаемой территории, причем, как правило, от всех неблагоприятных факторов химической, физической, биологической и социально-экономической природы.

Безопасность (Safety) – высокая вероятность отсутствия вредного эффекта при определённом режиме и условиях воздействия анализируемого химического вещества (агента).

Биоаккумуляция (Bioaccumulation) – способность вещества переходить из окружающей среды в биообъекты (например, водные организмы). К биоаккумулирующим относят химические соединения с коэффициентом (фактором) биоаккумуляции для рыб более 500, а также вещества, у которых логарифм коэффициента распределения октанол-вода превышает 4,0.

Биодоступность (Bioavailability) – способность молекул вещества взаимодействовать немеханическим путем с живыми организмами. Как правило, это соединения, находящиеся в газообразном или жидком состоянии, в форме водных растворов, адсорбированные на частицах почвы и различных поверхностях, твердые вещества, но в виде мелкодисперсной пыли (размер частиц менее 50 мкм), и, наконец, вещества, поступающие в организм с пищей.

Биологическая диссимилиация – показатель, рассчитываемый для загрязняющего вещества как доля БПК₅ от ХПК (в процентах).

Верхняя оценка (Upper bound) – величина, соответствующая верхней границе 95%-ного доверительного интервала интенсивности экспозиции (например, концентрации токсического вещества в воздухе), а для используемых физиологических параметров и длительностям экспозиции – значениям 90-й или 95-й перцентили. При наличии достаточной информации распределение экспозиций может быть оценено и с помощью других математических моделей (например, так называемой статистики Монте – Карло). Экспозиция, соответствующая «верхней оценке», рассматривается как основа реалистичного предсказания наибольшего возможного риска для отдельных членов популяции.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (W_R) – узаконенные коэффициенты (безразмерные), основанные на наблюдаемых значениях относительной биологической эффективности излучений разного качества по их способности индуцировать отдаленные эффекты облучения в клетках; за единицу принята биологическая эффективность излучений с малой величиной линейной передачи энергии – рентгеновского и гамма-излучения. Заданы таблично, используются для перехода от поглощенной к эквивалентной дозе облучения органа, ткани.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы облучения (W_T) – узаконенные взвешивающие коэффициенты (безразмерные), характеризующие вклад дозы облучения данного органа (эквивалентной дозы на орган) в полный ущерб из-за облучения всего тела. При их определении использованы данные о частоте индуцируемых в органе стохастических эффектов на единицу дозы и о связанной с ними потере продолжительности жизни. Это позволяет производить взвешенное суммирование доз облучения различных органов. Используются для перехода от эквивалентной дозы облучения органов, тканей к эффективной дозе облучения всего организма.

Воздействие (экспозиция) острое – единичная доза или многократные дозы, поглощенные в течение короткого промежутка времени (24 часа и менее).

Воздействие (экспозиция) хроническое – многократные воздействия, повторяющиеся в течение длительного периода времени или значительной части жизни животного или человека (статья 1 Федераль-

ного закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ).

Вредное вещество – вещество, которое при контакте с организмом человека в условиях производства или быта может вызвать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе контакта с веществом, так и в дальнейшей жизни настоящего и последующих поколений.

Вредное воздействие на человека – воздействие факторов среды обитания, создающее угрозу жизни или здоровью человека либо угрозу для жизни и здоровья будущих поколений.

Вредный эффект для здоровья человека – изменения в морфологии, физиологии, росте, развитии или продолжительности жизни организма, популяции или потомства, проявляющиеся в ухудшении функциональной способности или способности компенсировать дополнительный стресс, или в повышении чувствительности к воздействиям других факторов среды обитания.

Врожденные пороки развития – стойкие морфологические изменения органов, выходящие за пределы вариации их строения, возникающие внутриутробно или (намного реже) вскоре после рождения ребенка.

Выборка (Sample) – часть популяции, выбранная путем целенаправленного или случайного отбора.

Выгода от проведения мероприятий, направленных на устранение или снижение риска здоровью – соотношение между затратами на осуществление санитарно-эпидемиологических, технологических и других мероприятий и медико-социальной и (или) экономической оценкой их эффективности.

Генетический риск – вероятность увеличения частоты генетически обусловленных врождённых пороков развития, спонтанных абортов и перинатальных смертей в связи с воздействием неблагоприятных факторов на гены половых клеток.

Генотоксичность – свойство химических, физических и биологических факторов оказывать повреждающее действие на генетические структуры организма. Генотоксиканты включают в себя мутагены – агенты различного происхождения, вызывающие наследуемые изменения в геноме (генные, хромосомные и геномные мутации). Ряд авторов относит к генотоксикантам морфогены, вызывающие ненаследуемые

генетические изменения (морфозы) на уровне реализации признака в онтогенезе. Термины «генотоксиканты» и «мутагены» часто используются как синонимы. Термин «мутация» следует использовать только для наследуемых генетических изменений на фенотипическом уровне и для лежащих в их основе изменений ДНК. Результаты тестов на генотоксичность используют как индикатор истинно мутагенных эффектов.

Граница санитарно-защитной зоны – линия, ограничивающая территорию или максимальную из плановых проекций пространства, за пределами которых нормируемые факторы воздействия не превышают установленные гигиенические нормативы.

Граница экспозиции / граница безопасности (МОЕ) – отношение уровня ненаблюдаемости повреждающего эффекта (NOAEL) к расчетной экспозиционной дозе (EED).

Действие немедленное – токсический эффект, развивающийся в первые 30 минут воздействия вредного вещества.

Действие хроническое – токсический эффект, развивающийся в условиях длительного воздействия вредного вещества.

Добавочная доля популяционного риска (Population attributable risk fraction) – доля заболеваемости (смертности, инвалидности) в популяции, связанная с данным фактором риска; рассчитывается путем деления добавочного популяционного риска на общую заболеваемость (смертность, инвалидность) в популяции.

Доверительный интервал (Confidence interval) – статистический показатель, позволяющий оценить, в каких пределах может находиться истинное значение параметра в популяции; диапазон колебаний истинных значений. Величины, полученные в исследованиях на выборке больных, отличаются от истинных величин в популяции вследствие влияния случайности. Так, 95%-ный доверительный интервал означает, что истинное значение величины с вероятностью в 95% лежит в его пределах. Доверительные интервалы помогают сориентироваться, соответствует ли данный диапазон значений представлениям о клинической значимости эффекта и каких результатов можно ожидать, применив описанную методику на сходной группе больных. Величина доверительного интервала характеризует степень доказательности данных, в то время как величина P (95%) указывает на вероятность ошибочного отклонения нулевой гипотезы.

Доза (Dose) – основная мера экспозиции, характеризующая количество вещества, воздействующее на организм. В американских документах этому соответствует термин *potential dose* (потенциальная доза), в некоторых международных – *intake dose*, а применительно к токсикологическим экспериментам на животных – *administered dose* (назначенная, введенная доза). Другие понятия «доза», принятые американской методологией: *applied dose* (количество вещества на свободной границе анатомического барьера между окружающей и внутренней средой организма), *internal dose* (внутренняя доза – количество вещества, всосавшееся во внутреннюю среду) и *biologically effective dose* (биологически эффективная доза – количество вещества, поступающее в орган, с поражением которого связано развитие основных вредных эффектов экспозиции), – представляют научный интерес, но ввиду чрезмерной неопределённости их расчётов редко используются при решении реальных задач оценки риска.

Доза (концентрация) максимальная недеятельная – максимальная доза (концентрация) вещества в объектах окружающей среды, при воздействии которой при определенных условиях в организме не возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Доза (поступление) потенциальная – количество химического вещества, находящегося на обменных оболочках организма (в легких, желудочно-кишечном тракте, на коже) и потенциально способного к абсорбции, мг/кг или мг/(кг·день).

Доза внутренняя (абсорбированная) – количество химического вещества, проникшего через обменные барьеры организма посредством физических или химических процессов после контакта (воздействия).

Доза воздействующая (приложенная, примененная, доставленная, отложенная) – количество химического вещества, находящегося в контакте с первичными обменными барьерами организма.

Доза расчетная экспозиционная (EED) – измеряемая или рассчитываемая доза, которую, по-видимому, получают люди, учитывая все виды воздействия от всех источников.

Достоверность (Validity) – характеристика, показывающая, в какой мере результат измерения соответствует истинной величине. До-

стоверность исследования определяется тем, в какой мере полученные результаты справедливы в отношении данной выборки (internal validity). Это внутренняя характеристика, она касается именно данной группы больных и необязательно распространяется на другие группы.

Единичный канцерогенный риск (Unit carcinogenic risk, UCR) – результат применения линейной модели для определения верхней доверительной границы риска развития рака в течение всей жизни на единицу дозы, оцененной как результат воздействия агента в концентрации 1 мг/л в воде или 1 мг/м³ в воздухе. Обычно рассчитывается исходя из фактора наклона канцерогенного потенциала для ингаляционного и перорального воздействия.

Единичный риск (Unit risk, UR) – фактор пропорции роста риска в зависимости от величины действующей концентрации (дозы) вредного вещества. Единичный риск отражает значение риска для одной единицы концентрации вещества в объекте окружающей среды, например 1 мг/м³ в атмосферном воздухе или 1 мг/л воды.

Заболеваемость – статистический показатель, определяемый как отношение числа заболевших к средней численности населения на территории наблюдения в период, к которому относится расчет этого показателя. Как правило, определяется на 1000 жителей.

Заболеваемость раком – ежегодное превышение числа случаев рака. Этот показатель является ведущим при ранжировании проблем региона.

Зависимость «доза-ответ» (Dose-response relationship) – корреляция между уровнем экспозиции (дозой) и долей экспонированной популяции, у которой развился специфический эффект. Эколого-эпидемиологическое обоснование зависимости «доза-ответ» признаётся более надёжным, чем экспериментальное. Кроме того, для неканцерогенных эффектов только оно позволяет выразить ответ как явный показатель риска для человека. Некоторые вредные эффекты, очень важные для человеческой популяции, не имеют однозначного экспериментального эквивалента (например, снижение интеллектуального уровня у детей под влиянием свинца, или развитие респираторной симптоматики под влиянием раздражающих газов и пыли, или рак лёгких под влиянием ингаляции многих канцерогенных веществ).

Зависимость «доза-эффект» (Dose-effect relationship) – связь между дозой и степенью выраженности эффекта в экспонированной популяции.

Зависимость «доза-эффект» для канцерогенов – беспороговая модель, использующая величины потенциалов канцерогенного риска, которые являются индивидуальной характеристикой каждого вещества или иного агента. Причинно-следственные связи между фактом действия вещества и развитием процесса носят вероятностный характер. Зависимость «доза-эффект» прослеживается только на уровне популяции: чем больше доза, тем у большей части особей испытываемой популяции регистрируется эффект. При этом вероятность формирования токсического процесса сохраняется при действии на биосистему даже одной молекулы токсиканта (беспороговый эффект), хотя у отдельных организмов эффект может не развиваться даже при очень интенсивных (смертельных) воздействиях (мутагенез, канцерогенез, тератогенез).

Зависимость «доза-эффект» для неканцерогенов – пороговая модель, использующая величины референтных (безопасных) доз или концентраций, которые являются индивидуальной характеристикой каждого вещества или иного агента. Причинно-следственная связь между фактом действия вещества и развитием процесса носит безусловный характер. Зависимость «доза-эффект» прослеживается на уровне каждого подвергающегося воздействию организма, при этом чем больше доза, тем выраженнее реакция. Вместе с тем при действии веществ в дозах ниже определенных уровней (порогов) токсический процесс не развивается вовсе (интоксикации, транзиторные токсические реакции).

Зависимость «экспозиция-ответ» – связь между воздействующей дозой (концентрацией), режимом, продолжительностью воздействия и степенью выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции.

Идентификация опасности (Hazard identification) – первый этап процедуры оценки риска для здоровья, предусматривающий выявление всех потенциально опасных факторов, оценку весомости доказательств их способности вызывать определенные вредные эффекты у человека при предполагаемых условиях воздействия. Осуществляется отбор приоритетных факторов, подлежащих углубленному исследованию в процессе оценки риска. Дается качественная характеристика возможных неблагоприятных эффектов воздействия на организм тех вредных факторов, которые загрязняют окружающую среду в рассматриваемой зоне, городе, регионе и могут служить потенциальным источником опасности для здоровья проживающего здесь населения или какой-то его части.

Изолированное воздействие (Isolated exposure) – воздействие одной примеси (агента), оцениваемое через один путь поступления и маршрут воздействия и одну воздействующую среду.

Индекс опасности (Hazard index, HI) – сумма коэффициентов опасности для веществ с однородным механизмом действия или сумма коэффициентов опасности для разных путей поступления вещества. Если $HI < 1$, то риск допустим; если $HI > 1$, рассматривается как свидетельство потенциального риска для здоровья, необходимо дальнейшее изучение проблемы. Суммация при расчёте HI осуществляется только для веществ, воздействующих на одни и те же органы/системы организма.

Индекс суммарного загрязнения – кратность превышения допустимого уровня загрязнения условного вещества третьего класса опасности, токсический эффект которого равен эффекту суммы всех веществ, входящих в смесь. При определении суммарных показателей (индексов загрязнения) используется принцип изоэффективности: кратность превышения ПДК каждого вещества «приводится» к третьему классу опасности, а затем рассчитывается индекс загрязнения. Получаемый таким образом индекс загрязнения по сути представляет собой кратность превышения ПДК условного вещества третьего класса опасности, токсический эффект которого равен сумме всех веществ, входящих в смесь.

Индивидуальный канцерогенный риск (Individual carcinogenic risk, ICR) – оценка вероятности развития рака у экспонируемого индивидуума при воздействии потенциального канцерогена в течение всей жизни (средняя продолжительность жизни принимается равной 70 годам).

Индивидуальный риск (Individual risk) – оценка вероятности развития неблагоприятного эффекта у экспонируемого индивидуума. Например, риск развития рака у одного индивидуума из 1000 лиц, подвергавшихся канцерогенному воздействию (риск 1 на 1000 или $1 \cdot 10^{-3}$). При оценке риска, как правило, оценивается число дополнительных по отношению к фону случаев нарушений состояния здоровья, так как большинство заболеваний, связанных с воздействием среды обитания, встречаются в популяции и при отсутствии анализируемого воздействия (например, рак).

Индикаторы развития – традиционные экономические индикаторы развития, включая долю валового национального продукта на человека и другие показатели экономического развития. Существует большое

количество других индикаторов, влияющих на здоровье, образовательные и другие измерители социального прогресса, достигнутого страной, для сравнения с аналогичными показателями других стран. Они используются такими международными организациями, как Всемирный банк, ВОЗ, ЮНИСЕФ. Список таких показателей включает в себя смертность, особенно младенческую, детскую, материнскую, смертность от дыхательных и диарейных болезней, а также показатели развития экономики, уровень образования и др. Примером ежегодного сборника, использующего эти показатели, является «Здоровье детей мира» (UNISEF).

Интегрированная оценка риска (Integrated risk assessment) – процесс совместного анализа рисков, связанных с множеством источников, воздействующих факторов и маршрутов воздействия на человека, биоту или экологические ресурсы, с выделением определённой приоритетной области анализа.

Информация о риске – информация, лежащая на ответственности эксперта или экспертного учреждения, проводящего оценку риска, и передача развёрнутых результатов этой оценки лицам (органам), принимающим решение, взвешенное оповещение о них общественных природоохранных движений и организаций, а также населения (через СМИ), которым одновременно предлагаются те или иные варианты управления риском.

Исследование совокупного риска (Aggregate risk study)/экологическое исследование (ecological study) – исследование, в котором фактор риска характеризуется средним воздействием на группу; его задача – оценка влияния на людей факторов окружающей среды в целом.

Канцероген (Carcinogen) – химический, физический или биологический агент, способный вызвать развитие рака (малигнизацию ткани). Это фактор, воздействие которого достоверно увеличивает частоту возникновения опухолей (доброкачественных и/или злокачественных) в популяциях человека и/или животных, и/или сокращает период развития этих опухолей.

Канцерогенез – процесс возникновения злокачественных новообразований в результате действия канцерогенных факторов, или процесс возникновения опухолей под влиянием канцерогенных факторов (независимо от механизмов их действия), который выражается в более частом и/или более раннем появлении опухолей в популяциях человека и/или животных (В.В. Худoley, 1999).

Канцерогенный потенциал/фактор канцерогенного потенциала/фактор наклона (Cancer slope factor, SF) – наклон кривой доза-ответ в области низких доз; обычно используется верхний 95%-ный доверительный предел наклона кривой «доза-ответ» (на линейном участке). Факторы наклона канцерогенного потенциала разработаны в экспериментальных исследованиях на животных на основе использования линейной многоступенчатой модели (linearized multistage model) и с учетом статистической экстраполяции с высоких доз, где наблюдаются эффекты в лабораторных условиях, на малые дозы, реально встречающиеся в объектах окружающей среды, при которых эффект в эксперименте не выявляется. Это мера дополнительного индивидуального канцерогенного риска или степень увеличения вероятности развития рака при воздействии канцерогена. Определяется как верхняя 95%-ная граница доверительного интервала наклона зависимости «доза-ответ» в нижней, линейной части кривой. Фактор наклона (SF) устанавливается отдельно для ингаляционного (SF_i) и перорального (SF_o) поступления вещества в организм и имеет размерность $мг/(кг-сут.)^{-1}$.

Канцерогенный риск (Carcinogenic risk) – возрастание вероятности развития рака у индивидуума на протяжении всей его жизни как результат воздействия потенциального канцерогена. Канцерогенный риск представляет собой верхнюю доверительную границу дополнительного пожизненного риска. Оценка канцерогенного риска осуществляется либо по экспоненциальной, либо по линейной модели. Первая модель является универсальной и хорошо работает на больших и малых уровнях воздействия. Вторая модель применима только при относительно малых экспозиционных нагрузках.

Канцерогенный эффект (Carcinogenic effect) – возникновение злокачественных новообразований при воздействии факторов окружающей среды.

Качество окружающей среды – состояние окружающей среды, характеризующееся физическими, химическими, биологическими и (или) иными показателями или их совокупностью.

Когорта (Cohort) – группа лиц, изначально объединенных каким-либо общим признаком (например, здоровые лица или больные на определенной стадии заболевания) и наблюдаемых в течение определенного периода времени, чтобы проследить, что с ними произойдет в дальнейшем.

Когортное исследование – метод эпидемиологического исследования, в котором определенная когорта людей прослеживается в течение некоторого периода времени. Когортные исследования называют также продольными или лонгитудинальными, то есть прослеживаемыми во времени, проспективными (имеется в виду, что группа сформирована в настоящее время и будет прослежена в будущем). Исследование направлено от предполагаемых причин к заболеванию. Полученные данные – показатели смертности, заболеваемости или других отклонений состояния здоровья человека – сопоставляются с соответствующими данными в контрольной группе, не подвергавшейся экспозиции или же подвергавшейся значительно меньшему уровню воздействия.

Командно-административные (административно-управленческие) меры – нормативно-правовые, административно-контрольные и другие меры прямого регламентирования, направленные на снижение загрязнения окружающей среды путем установления нормативов для производства, технологий или выбросов в окружающую среду загрязнителей.

Комбинированное воздействие (Combined exposure) – одновременное или последовательное воздействие нескольких примесей (агентов), оцениваемое при одном и том же пути поступления через одну воздействующую среду (воздух, вода или др.).

Контрольная группа, или группа сравнения, – группа населения, не испытывающая воздействия загрязненной окружающей среды.

Коэффициент опасности (Hazard quotient, HQ) – отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия.

Коэффициент радиационного риска возникновения стохастических эффектов (r_E) – коэффициент пожизненного риска сокращения длительности периода полноценной жизни в среднем на 15 лет на один стохастический эффект (от смертельного рака, серьезных наследственных эффектов и несмертельного рака, приведенного по вреду к последствиям от смертельного рака), равный для производственного облучения: $r_E = 5,6 \cdot 10^{-2}$ 1/чел.-Зв при $E < 200$ мЗв/год, $r_E = 1,1 \cdot 10^{-1}$ 1/чел.-Зв при $E \geq 200$ мЗв/год; для облучения населения: $r_E = 7,3 \cdot 10^{-2}$ 1/чел.-Зв при $E < 200$ мЗв/год, $r_E = 1,5 \cdot 10^{-1}$ 1/чел.-Зв при $E \geq 200$ мЗв/год.

Коэффициент распределения в системе «октанол-вода» (K_{ow}) – отношение концентрации вещества в н-октаноле (модель липидной

фазы) к концентрации в воде при 20 °С. Величина K_{ow} обычно используется для предсказания сорбции вещества в почве, донных отложениях и биоаккумуляции (магнификации). Между K_{ow} и растворимостью вещества в воде (S , мг/л) существует зависимость, которая выражается уравнением (Фрумин, 2002) $\lg K_{ow} = 4,6785 - 1,086 \cdot \lg S$. Это соотношение хорошо выполняется для многих классов органических соединений, включая углеводороды, галогенированные углеводороды, ароматические кислоты, хлорорганические пестициды, полихлорированные пестициды.

Коэффициент риска для здоровья – дополнительный риск, приходящийся на единицу экспозиции (дозы).

Коэффициент ущерба для здоровья – величина ущерба, приходящаяся на единицу дозы.

Ксенобиотик – чужеродное для живых организмов вещество, не присутствующее в норме в окружающей среде, например пестициды или диоксины.

Ксенобиотический профиль – совокупность чужеродных веществ, содержащихся в окружающей среде (воде, почве, воздухе и живых организмах) в форме (агрегатном состоянии), позволяющей им вступать в химические и физико-химические взаимодействия с биологическими объектами экосистемы. Ксенобиотический профиль следует рассматривать как один из важнейших факторов внешней среды (наряду с температурой, освещенностью, влажностью, трофическими условиями и т.д.), который может быть описан качественными и количественными характеристиками.

Кумулятивное воздействие (Cumulative exposure) – воздействие нескольких примесей (агентов), оцениваемое через все возможные пути поступления, маршруты и воздействующие среды.

Кумулятивный риск (Cumulative risk) – вероятность развития вредного эффекта в результате одновременного поступления в организм всеми возможными путями химических веществ, обладающих сходным механизмом действия. Суммируется действие только тех веществ, которые оказывают неблагоприятное влияние на одни и те же органы/системы организма.

Маршрут воздействия (Exposure pathway) – путь химического вещества от источника его образования и поступления в окружающую среду до экспонируемого организма. Включает в себя источник загряз-

нения окружающей среды, первично загрязняемые среды, транспортирующие среды, непосредственно воздействующие на человека среды и все возможные пути поступления химического вещества в организм.

Мета-анализ – количественный анализ объединенных результатов эколого-эпидемиологических исследований по оценке воздействия одного и того же фактора окружающей среды.

Младенческая смертность – отношение числа смертей младенцев в возрасте до 1 года к числу живорождений в том же году, умноженное на 1 000.

Многофакторный анализ – метод статистического анализа, оценивающий влияние многих факторов в отношении какого-либо события (например, показателя здоровья).

Мониторинг (контроль) воздействия (Exposure monitoring) – компонент управления риском для здоровья, предусматривающий действия, предпринимаемые для динамического контроля уровней экспозиции вредного фактора. Действия предпринимаются для поддержания экспозиции ниже допустимого максимального уровня. Процесс включает установление этого уровня на основе сравнительной характеристики риска и установление зависимостей между эмиссиями из различных источников и воздействиями на человека.

Мониторинг риска (Risk monitoring) – один из компонентов управления риском для здоровья – процесс, заключающийся в принятии решений и действиях в рамках управления риском, с целью проверки, достигнута ли цель уменьшения риска при снижении воздействия.

Наименьший уровень воздействия, при котором наблюдается вредный эффект (Lowest observed adverse effect level, LOAEL) – наименьшая доза/концентрация химического вещества, при воздействии которой наблюдается вредный эффект.

Неблагоприятный (вредный) эффект (Adverse effect) – изменения в морфологии, физиологии, росте, развитии или продолжительности жизни организма, популяции или экологической системы, проявляющиеся в ухудшении функциональной способности или способности компенсировать дополнительный стресс, или в увеличении чувствительности к другим воздействиям факторов окружающей среды.

Неканцероген – химический, физический или биологический агент, обладающий неканцерогенным токсическим действием, для которого отсутствуют доказательства канцерогенности.

Неканцерогенный риск – вероятность возрастания развития неканцерогенных токсических эффектов (немедленных или хронических) у индивидуума/популяции как результат воздействия неканцерогена. Оценка неканцерогенного риска начинается с процедуры сопоставления величины воздействующей концентрации (дозы) с референтной. Если отношение этих величин менее единицы, то риска нет, если больше – то риск есть.

Неканцерогенный риск немедленных эффектов – риск, обусловленный рефлекторными реакциями организма в ответ на загрязнение неканцерогенами. Расчёт риска немедленных эффектов основывается на информации о максимальных уровнях загрязнения. Из эффектов краткосрочного воздействия представляется целесообразной оценка таких показателей, как: 1) отношение (кратность) максимальной концентрации к порогу обонятельного ощущения (порогу запаха); 2) вероятность обнаружения неспецифического запаха (привкуса); 3) вероятность проявления навязчивого запаха (привкуса).

Неканцерогенный риск хронических эффектов – вероятность увеличения первичной заболеваемости популяции в ответ на длительное воздействие неканцерогена. Первичная заболеваемость оценивается по сумме всех впервые зарегистрированных случаев заболеваний.

Немедленный неканцерогенный эффект – токсический эффект, развивающийся в первые 30 минут вредного воздействия неканцерогенного фактора. Эффекты немедленного действия чаще всего проявляются в виде рефлекторных реакций. Оценка острых (немедленных) эффектов проводится с использованием двух основных подходов к установлению величины воздействующей концентрации: а) ориентация на максимальную концентрацию за год; б) ориентация на верхние (95-й или 98-й) процентиля, рассчитанные по данным мониторинга за год. Первый подход используется для оценки максимально возможного риска при малом числе имеющихся данных. В этом случае величины рисков оказываются преувеличенными, причём возможную ошибку оценки нельзя охарактеризовать даже приблизительно. Второй подход является наиболее оправданным и даёт реалистичные характеристики рисков здоровью.

Неопределенность (Uncertainty) – ситуация, обусловленная несовершенством знаний о настоящем или будущем состоянии рассматриваемой системы. Характеризует частичное отсутствие сведений об

определённых параметрах, процессах и моделях, используемых при оценке риска. Это либо ориентировочная оценка пределов, в которых может лежать предполагаемое истинное значение тех количественных параметров, которые используются на разных этапах оценки риска, а тем самым и его завершающая характеристика, либо только констатация наличия и основных причин её неоднозначности. Неопределенность в конечном итоге определяет надежность и достоверность оценок риска и может быть уменьшена путем дополнительных исследований или измерений.

Неспецифический общетоксический риск – вероятность увеличения частоты болезней различных классов и форм, нарушений течения беременности и родов, кроме специфических, в связи с неспецифическим воздействием неблагоприятных факторов экологической обстановки.

Неспецифический эмбриотоксический риск – вероятность увеличения частоты заболеваний новорожденных, внутриматочных гипоксий и асфиксий при родах и тому подобного, в связи с неспецифическим воздействием неблагоприятных факторов окружающей человека среды на плод во время беременности.

Неспецифическое воздействие – воздействие, реализуемое через различные неспецифические механизмы регуляции гомеостаза и адаптации организма к изменениям окружающей природной и социальной среды. Оно проявляется в виде различных неспецифических неинфекционных заболеваний и смертности от них, осложнений течения беременности и родов, нарушений развития ребенка (кроме врожденных пороков развития, части случаев спонтанных аборт и перинатальной смертности), отклонений физического развития, изменений иммунного статуса. Неблагоприятный фактор природной окружающей среды выступает чаще как условие реализации патогенных причин, большинство этих эффектов являются стохастическими. Установление зависимости их частоты от загрязнения и подобных неблагоприятных факторов окружающей среды есть по сути своей оценка (или определение) роли этих факторов в вероятностном процессе появления заболеваний (или других нарушений здоровья).

Нижняя доверительная граница дозы/концентрации при выбранном уровне отличия от контрольной группы (Benchmark dose/concentration, BMD/BMC) – это доза / концентрация, при которой с

заданной вероятностью (часто, но необязательно 10%-ной) наблюдается эффект не менее заданной величины (аналог «вероятностного порога»). Например, BMD может представлять собой нижнюю границу 95%-ного доверительного интервала дозы, соответствующей повышению на 1% частоты обнаружения определённого неблагоприятного показателя в экспонированной группе по сравнению с контрольной. Выбор граничного уровня ответа (benchmark response level), например 1%-ного, достаточно произволен, но рекомендуется устанавливать его таким, чтобы BMD оказалась ненамного ниже, чем LOAEL (иногда рекомендуется даже, чтобы она находилась между LOAEL и NOAEL). Установление BMD-доз – это альтернативный подход, разрабатываемый US EPA, в котором величины BMD получают в результате вероятностного анализа экспериментальных зависимостей «доза-ответ» для неканцерогенов.

Ожидаемая потеря продолжительности полноценной жизни – математическое ожидание сокращения продолжительности жизни человека в результате воздействия вредного фактора. Ожидаемая потеря продолжительности полноценной жизни может служить мерой ущерба для здоровья.

Опасность (Hazard) – совокупность свойств химического вещества, других потенциально вредных факторов или ситуации, определяющих их способность вызывать неблагоприятные эффекты при определённых условиях воздействия. Это источник возможного повреждения; совокупность неотъемлемых свойств вещества, любого фактора, определенного обстоятельства, обладающих способностью вызывать нежелательные последствия для здоровья человека. В методологии оценки риска принято считать, что опасность представляет собой качественный признак и существует без какого-либо воздействия, в то время как риск рассчитывается количественно и является результатом фактического или потенциального воздействия в конкретных условиях. Это положение выражается формулой: $\text{риск} = \text{опасность} \times \text{экспозиция}$. Другими словами, опасность – это источник риска, который не обязательно обладает способностью к реализации.

Опасные отходы – это отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие опасными свойствами или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной сре-

ды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами. В перечень опасных включены отходы, обладающие хотя бы одним из опасных свойств: радиоактивностью, инфекционностью, взрывоопасностью, огнеопасностью, окислительной способностью, коррозионностью, экотоксичностью, токсичностью.

Описательная эпидемиология – исследования, связанные с изучением распространенности той или иной болезни или болезней среды населения.

Описательное эколого-эпидемиологическое исследование – исследование, в котором фактор риска характеризуется средним воздействием на группу. Отношение шансов определяется как отношение шансов события в одной группе к шансам события в группе, или как отношение шансов того, что событие произойдет, к шансам того, что событие не произойдет. В исследованиях «случай-контроль» отношение шансов используется для оценки относительного риска.

Ответ (Response) – доля человеческой популяции или популяции лабораторных животных, проявляющая определённую неблагоприятную реакцию на определённую дозу вредного фактора.

Относительный риск (Relative risk, RR)/отношение рисков (Risk ratio) – отношение заболеваемости среди лиц, подвергавшихся и не подвергавшихся воздействию факторов риска. Относительный риск не несет информации о величине абсолютного риска (заболеваемости). Даже при высоких значениях относительного риска абсолютный риск может быть совсем небольшим, если заболевание редкое. Относительный риск показывает силу связи между воздействием и заболеванием. Это вероятность более частого возникновения заболевания или другого нарушения здоровья на рассматриваемой территории в результате воздействия неблагоприятных экологических факторов.

Оценка «затраты-выгоды»/затратно-прибыльный анализ – метод экономического анализа, применяемый на стадии управления риском здоровьем для разработки/выбора сценария сокращения риска и предполагающий, что сокращение риска для здоровья должно происходить до тех пор, пока дополнительные выгоды от сокращения риска больше, чем дополнительные затраты на их достижение; достигнутый при этом уровень риска и определяется как «приемлемый».

Оценка зависимости «доза-ответ» (Dose-response relationship assessment) – один из четырех основных компонентов процедуры

оценки риска для здоровья – процесс характеристики связи между дозой введенного или полученного агента и числом случаев вредного для здоровья эффекта в экспонированной популяции. Устанавливаются или прогнозируются связи между дозой или концентрацией вредного фактора и относительным числом индивидуумов с количественно определённой выраженностью качественно определённого неблагоприятного эффекта. Этап оценки зависимости «доза-ответ» принципиально различается для канцерогенов и неканцерогенов. Для оценки канцерогенного риска применяется беспороговая модель, использующая величины потенциалов канцерогенного риска, которые являются индивидуальной характеристикой каждого вещества или иного агента. Для неканцерогенных факторов на этом этапе чаще всего экспериментально или эпидемиологически оценивается наибольшая доза (концентрация), не вызывающая уловимых вредных эффектов у животных или человека, на базе которой затем рекомендуется референтная доза (концентрация) для населения.

Оценка риска для здоровья (Risk assessment) – процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных эффектов на основе научного анализа токсических свойств химического вещества и условий воздействия на человека и состоящий из четырех основных этапов: идентификации опасности, оценки зависимости «доза-ответ», оценки экспозиции (воздействия) и характеристики риска. Оценка риска – это научный анализ генезиса и масштабов риска в конкретной ситуации.

Оценка сравнительной значимости рисков (Risk evaluation) – этап характеристики риска, предусматривающий определение сравнительной значимости выявленных опасностей и рассчитанных рисков для здоровья экспонируемой популяции. Сравнительная характеристика включает также ранжирование опасных факторов, источников загрязнения окружающей среды, воздействующих сред, путей поступления химических веществ в организм, а также поражаемых органов (систем).

Оценка экологического риска (Ecological risk assessment) – процесс определения вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны биогеоценоза в результате изменений различных характеристик среды.

Оценка экспозиции (Exposure assessment) – один из основных этапов оценки риска для здоровья – определение того, какими путями,

через какие компоненты окружающей среды, на каком количественном уровне (выраженном как концентрация в этом компоненте и/или как доза), в какое время, при какой периодичности и общей продолжительности имеет место реальное или ожидаемое воздействие конкретного вредного фактора на человеческую популяцию или её часть с учётом её численности. Оцениваются величина, длительность и частота экспозиции человека загрязнителем и число людей, подвергающихся воздействию химического вещества различными путями.

Оценка эффективности затрат/анализ «затраты-эффективность» – метод экономического анализа, применяемый на стадии управления риском здоровью для разработки/выбора сценария сокращения риска и предполагающий, что любое сокращение риска для здоровья должно быть осуществлено с наименьшими возможными затратами. Оценку эффективности затрат можно использовать для обоснования приоритетов при планировании возможных мероприятий по сокращению риска (от наименее дешёвых до наиболее дорогих).

Первичная заболеваемость – впервые в жизни диагностированные заболевания в течение определенного периода, например года. Заболеваемость выражается в виде коэффициента, например, число новых, впервые диагностированных случаев бронхиальной астмы на 1000 детей за данный год.

Перинатальная смертность – смертность плодов и детей в перинатальном периоде (между 28-й неделей беременности и 1-й неделей после рождения). Показатель перинатальной смертности включает показатели мертворождаемости и ранней неонатальной смертности. Показатель перинатальной смертности выражается в промилле (‰). По международным рекомендациям национальная перинатальная статистика должна включать все случаи рождения плода и новорожденного весом минимум 1000 г и более или, если нет возможности провести взвешивание, соответствующего развитию 28 недель внутриутробного развития, или с длиной тела 25 см, и в случае, если он жив и если он мертв.

Период скрытый – время между первоначальным воздействием вредного агента и проявлением (или обнаружением) заболевания; приблизительно определяется как промежуток времени (или его часть) от первоначальной экспозиции до обнаружения эффекта.

Персистентность химического вещества – продолжительность сохранения биологической активности загрязняющего химического

вещества, характеризующая степень его устойчивости к процессу разложения. Биотическая и абиотическая трансформация химического вещества может привести к следующим результатам: 1) образованию более токсичных продуктов, в том числе обладающих отдаленными эффектами или новыми свойствами; 2) образованию продуктов с более выраженным влиянием других критериев опасности; 3) образованию продуктов, токсичность которых близка к токсичности исходного вещества; 4) образованию менее токсичных продуктов. Персистентность обычно характеризуется временем полусуществования химического вещества в объектах окружающей среды. К персистентным относят химические соединения с периодом полусуществования более 50 дней.

Поглощенная доза излучения в органе или ткани – средняя величина энергии ионизирующего излучения в определенном органе или ткани человеческого тела: $D=de/dm$, где de – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, Дж, находящемуся в элементарном объеме; dm – масса вещества в этом объеме, кг. Поглощенная доза была введена как основная дозиметрическая величина, отражающая концентрацию энергии, переданной ионизирующим излучением веществу. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название – грей (Гр).

Подход «доза-эффект» – установление взаимосвязи между степенью воздействия на экосистему – дозой (например, загрязнением) и результирующим эффектом. Анализ зависимости «доза-эффект» дает возможность определить пределы устойчивости экосистемы, а также оценить возможный экологический ущерб от воздействия.

Поперечное исследование – описательное эпидемиологическое (кросс-секционное) исследование, проводимое в определенный момент времени с целью оценки распространенности заболевания или другого показателя здоровья. Эти исследования наиболее пригодны для условий и заболеваний, не имеющих длительного латентного периода и не вызывающих смерти. Пораженность характеризует не только количество известных больных, но и ту часть больных, которая активно выявляется при углубленных медицинских осмотрах и обследованиях.

Популяционный атрибутивный (добавочный) риск (Population attributable risk) рассчитывается как произведение добавочного риска на распространенность фактора риска в популяции. Этот показатель отражает дополнительную заболеваемость в популяции, связанную с фактором риска.

Популяционный канцерогенный риск (Population carcinogenic risk, PCR) – агрегированная мера ожидаемой частоты эффектов (случаев рака) среди всех подвергшихся воздействию людей; характеризует дополнительное (к фоновому уровню заболеваемости) число случаев злокачественных новообразований в исследуемой популяции как при воздействии в течение всей жизни, так и за год. Популяционный канцерогенный риск обычно устанавливается для годовой экспозиции.

Популяционный риск (Population risk) – агрегированная мера ожидаемой частоты эффектов среди всех подвергшихся воздействию людей (организмов).

Популяция (Population) – это совокупность индивидуумов, из которой отбирается выборка и на которую могут быть распространены результаты, полученные для этой выборки. Популяция может представлять собой все население (обычно таковы популяции в эпидемиологических исследованиях причин заболеваний) или же состоять из пациентов, госпитализированных в определенную клинику, или из пациентов с определенным заболеванием (что чаще имеет место в клинических исследованиях). Таким образом, можно говорить об общей популяции, госпитальной популяции или популяции пациентов с конкретным заболеванием. Эпидемиологическое определение популяции отличается от биологического (экологического).

Порог – доза или уровень экспозиции, ниже которой не обнаруживается значительного неблагоприятного эффекта. Канцерогены являются беспороговыми химическими веществами, для которых не существует такого воздействия, которое могло бы рассматриваться как не обладающее некоторым риском развития неблагоприятных эффектов.

Приемлемый риск (Acceptable risk) – уровень риска развития неблагоприятного эффекта, который не требует принятия дополнительных мер по его снижению. Это вероятность наступления события, негативные последствия которого настолько незначительны, что ради получаемой выгоды от факторов риска человек, группа людей или общество в целом готовы пойти на этот риск. Уровень допустимого риска устанавливается путем его сопоставления с риском, который существует в повседневной деятельности или жизни людей. Уровень допустимого риска зависит от научных данных, социальных, экономических и политических факторов, а также от ощущаемых выгод, получаемых от использования химического соединения или процесса. Уровень приемлемого риска устанавливается

ливаются отдельно для населения и персонала производств. В качестве приемлемых уровней риска чаще всего используются следующие величины. В ряде стран в качестве приемлемого индивидуального канцерогенного риска используются величины на уровне от 10^{-4} до 10^{-6} . Целевой уровень риска, который должен быть достигнут в результате проведения мероприятий, как правило, принимается равным 10^{-6} . В соответствии с рекомендациями U.S. EPA и некоторых других зарубежных агентств при уровнях пожизненного канцерогенного риска более 10^{-3} существует экстренная необходимость проведения мероприятий по его снижению. Для условий производственного воздействия уровни допустимого риска составляют 10^{-3} – 10^{-4} . Как правило, приемлемый индивидуальный канцерогенный риск для населения составляет для канцерогенов группы А – 0,00001, для остальных канцерогенов – 0,0001. В Нормах радиационной безопасности (НРБ-99) предел индивидуального пожизненного риска для техногенного облучения персонала принимается $1,0 \cdot 10^{-3}$, а для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$. Индекс приемлемого неканцерогенного риска и риски по всем пороговым моделям – 1. Индивидуальный неканцерогенный риск немедленных эффектов: неспецифический запах (привкус) – 0,05; навязчивый запах (привкус) – 0,001. Индивидуальный неканцерогенный риск хронических эффектов – риск хронической интоксикации (беспороговый) – 0,02.

Путь поступления – способ контакта между организмом и потенциально вредным химическим веществом (пероральное поступление, ингаляция, кожная абсорбция).

Радиационный риск – вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения. Облучение вызывает эффекты двух классов: стохастические и детерминированные. К стохастическим эффектам, реализация которых имеет вероятностный характер, относят радиогенные раки (злокачественные опухоли и лейкозы) и тяжелые наследственные болезни. Все остальные эффекты, как правило, относят к классу детерминированных. Детерминированные биологические эффекты облучения связаны с нарушением функций органов и систем организма (иногда из-за опустошения клеточного пула). Примеры: первичная реакция, эритема, лучевая болезнь, бесплодие, аномалии развития плода, катаракта. Эти эффекты проявляются лишь если доза или мощность дозы достигли некоторого уровня, называемого порогом клинического эффекта. При более высоких уров-

нях степень тяжести нарушений возрастает с дозой. Вероятность реализации воздействия излучения в виде того или иного эффекта зависит от дозы облучения и времени, прошедшего после облучения. Для целей радиационной безопасности, как правило, рассматривается вероятность, отнесенная ко всей ожидаемой продолжительности жизни человека (пожизненный риск). Пожизненную вероятность эффектов, приводящих к смерти человека, обычно называют вероятностью преждевременной смерти.

Радиационный риск возникновения детерминированных эффектов (индивидуальный – $r_{ид}$) – риск сокращения длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов, который при облучении в течение года консервативно принимается равным $r_{ид} = P_i[D > D]$, где $P_i[D > D]$ – вероятность для i -го индивидуума быть облученным с дозой больше D при обращении с источником в течение года; D – пороговая доза для детерминированного эффекта. Среднее сокращение длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов облучения принимается равным 45 годам. Дозовая зависимость пожизненной вероятности для детерминированных эффектов имеет в области больших доз порог, ниже которого проявление эффекта практически невозможно. При превышении порога эта вероятность быстро приближается к единице.

Радиационный риск возникновения стохастических эффектов (индивидуальный – r_{ic} ; коллективный – R) – вероятность возникновения у человека на протяжении всей его жизни какого-либо стохастического эффекта в результате облучения: $r_{ic} = \int_0^{\infty} p_i(E)r_E E dE$; $R = \sum_{i=1}^N r_{ic}$, где E – индивидуальная эффективная доза, Зв; $p(E)dE$ – вероятность для i -го индивидуума получить эффективную дозу от E до $E+dE$; r_E – коэффициент радиационного пожизненного риска возникновения стохастических эффектов, 1/чел.-Зв. Среднее сокращение длительности периода полноценной жизни в результате возникновения стохастических эффектов облучения принимается равным 15 годам. Для пожизненной вероятности реализации стохастических эффектов принята линейная зависимость от дозы.

Радиационный ущерб здоровью: а) индивидуальный радиационный ущерб равен произведению пожизненной вероятности реализа-

ции стохастического или детерминированного эффекта на среднее число лет, которые в результате могут быть потеряны, последняя величина не зависит от дозы облучения и лежит в строго ограниченных пределах в зависимости от того, какой орган облучен; б) популяционный радиационный ущерб – ожидаемое число потерянных в результате облучения человеко-лет здоровой жизни. В области малых доз облучению с эффективной коллективной дозой 1 чел.-Зв соответствует ущерб, равный потере 1 чел.-год полноценной «коллективной» жизни облученного коллектива. Понятие «радиационный ущерб» введено в публикации 26 (МКРЗ, 1977) как мера вреда, который может быть причинен группе людей и их потомству в результате воздействия источника излучения. Радиационный ущерб для здоровья, кроме пожизненной вероятности смертельных раков, учитывает также величину потерянной от них продолжительности жизни и потерю лет полноценной жизни от несмертельных раков и генетических повреждений (МКРЗ, 1990).

Распространение информации о риске (Risk communication) – элемент анализа риска для здоровья, предусматривающий взаимный обмен информацией о рисках между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и общественностью в целом.

Репродуктивная токсичность – вредные эффекты на процессы оплодотворения, беременность или потомство (эмбриотоксичность, тератогенность и мутагенные эффекты в половых клетках), вызванные воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды на любого родителя.

Референтная доза (Reference dose, RfD) – суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учётом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения.

Референтная концентрация (Reference concentration, RfC) – оценка/расчет (с возможной неопределенностью одного порядка) непрерывного ингаляционного воздействия на человеческую популяцию (включая чувствительные подгруппы), которое, вероятно, не сопровождается заметным риском вредных неканцерогенных эффектов на протяжении всей жизни. Эта концентрация устанавливается Агентством

по охране окружающей среды США в качестве предела ингаляционного воздействия на человека потенциально опасных уровней химических веществ в воздухе.

Риск (Risk): 1) статистическое понятие, определяемое как ожидаемая частота или вероятность нежелательных эффектов, возникающих от воздействия данной опасности; 2) вероятность повреждения (травмы), заболевания или смерти при определенных обстоятельствах (условиях). В количественном отношении риск выражается в величинах, колеблющихся от нуля (вред не будет иметь места) до единицы (вред будет иметь место); 3) вероятность того, что неблагоприятный эффект будет иметь место у индивидуума, группы или в экологической системе при воздействии определенной дозы или концентрации опасного агента, то есть он зависит как от степени токсичности опасного агента, так и от уровней воздействия.

Риск для здоровья (Risk) – вероятность развития неблагоприятного эффекта у индивидуума или группы людей при воздействии определенной дозы или концентрации опасного агента в конкретных обстоятельствах. Это вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания. В количественном отношении риск выражается в величинах, колеблющихся от нуля (представляющего уверенность в том, что вред не будет иметь место) до единицы (представляющей уверенность в том, что вред будет иметь место).

Риск нарушения санитарно-эпидемиологического благополучия населения – вероятность негативных изменений состояния здоровья населения или состояния здоровья будущих поколений, а также нарушений благоприятных условий жизнедеятельности человека (включая ухудшение условий и качества жизни, возникновение дискомфортных состояний и др.), обусловленная воздействием факторов среды обитания. Данное понятие имеет комплексный характер и включает в себя не только собственно риск здоровью, но и другие виды рисков (например, риск снижения качества жизни, риск развития дискомфортных состояний, непосредственно не связанных с изменениями практического здоровья человека, и т.д.).

Систематическая ошибка – неслучайное однонаправленное отклонение результатов от истинных значений. Систематическая ошиб-

ка может возникать вследствие отбора, при создании выборки, вследствие измерений, при воздействии неучтенных факторов и во многих других случаях.

Смертность – статистический показатель, определяемый как отношение числа умерших к средней численности населения на территории наблюдения в период, к которому относится расчет этого показателя. Как правило, определяется на 1000 жителей.

Специфическое воздействие – воздействие, реализуемое или через определенные механизмы развития характерных для фактора заболеваний, или через механизм возникновения специфических эффектов нарушения здоровья. При этом факторы среды выступают: а) в качестве причины развития заболевания определенной симптоматики или патологических нарушений; б) в качестве причины и (или) условия возникновения таких специфических эффектов, как генетические (мутагенные), тератогенные, канцерогенные, аллергенные и т.п.

Сравнительный анализ (оценка) риска (Comparative risk assessment) – процесс сравнения и ранжирования различных типов риска для определения приоритетов при его регулировании и распределении финансовых вложений. Это начальный этап управления риском, в котором формулируется суждение о выраженности и приемлемости риска; осуществляется сравнение рассчитанных рисков или нарушений здоровья от воздействия фактора окружающей среды с рисками, вызываемыми другими агентами или социальными факторами, и выгодами, связанными с применением этого фактора среды. На этой основе принимаются решения о «приемлемом риске». Сравнительную характеристику риска следует рассматривать не только как аналитический процесс, но и как систему методов, включающих постоянное измерение, сопоставление и ранжирование факторов окружающей среды.

Сравнительный риск (Comparative risk) – выражение рисков, возникающих от двух различных (или более) факторов и ведущих к одному и тому же эффекту; может выражаться количественно (например, как отношение 1:5) или качественно (один риск больше, чем другой); другими словами, любое сравнение рисков двух или более опасностей в единой шкале.

Среднесмертельная доза/концентрация (LD_{50}/LC_{50}) – доза (концентрация) вещества, в объектах окружающей среды, вызывающая гибель 50% стандартной группы подопытных животных при определенной экспозиции и определенном сроке последующего наблюдения.

Среднесуточная доза/концентрация (Average daily dose/concentration, ADD/ADC) – потенциальная суточная доза / концентрация, усреднённая за весь период воздействия химического вещества. Период усреднения для хронических воздействий обычно принимается равным для взрослых 30 годам, для детей в возрасте до 6 лет – 6 годам.

Среднесуточная пожизненная доза/концентрация (Lifetime average daily dose/concentration, LADD/LADC) – потенциальная суточная доза/концентрация, усредненная за весь период жизни человека. Период усреднения экспозиции для канцерогенов обычно принимается равным 70 годам.

Стрессор – в системе оценки экологического риска любое воздействие, вызывающее изменения в биологических системах (как позитивные, так и негативные).

Сценарий воздействия (Exposure scenario) – описание специфических условий экспозиции; совокупность факторов, предположений и заключений о воздействии оцениваемого вредного фактора. Сценарий экспозиции может включать несколько маршрутов воздействия.

Сценарий сокращения риска – совокупность целенаправленных мероприятий по сокращению риска, имеющих начало и конец, требующих выполнения в установленные сроки одним или несколькими исполнителями с учетом имеющегося бюджета и с соблюдением стандартов качества.

Тератогенный риск – вероятность увеличения частоты врождённых пороков развития в связи с воздействием неблагоприятных факторов на органогенез плода.

Техногенная система/ландшафт – система с практически полностью трансформированным биологическим круговоротом элементов, техногенные свойства полностью или явно преобладают над природными. Специфика техногенных, культурных систем определяется техногенной миграцией веществ, социальными процессами, хотя в них развиваются и все остальные виды миграции. Выбор района исследования (для оценки риска здоровью или экологического риска) не является простой и однозначной задачей. При выборе района необходимо учитывать следующие факторы: 1) район должен быть выбран по своим физическим и промышленным/экономическим показателям, а не по административным границам; 2) район следует выбирать на основе предприятий и систем, вызывающих беспокойство, или потенци-

альных областей, на которые может непосредственно распространяться воздействие; 3) четкие границы нельзя провести до начала анализа опасности, так как априорно нельзя определить район, на который может распространяться воздействие; 4) необходимо рассматривать и учитывать различную деятельность в пределах воздушного и водного бассейнов; 5) системы транспорта, используемые для перевозки опасных материалов от объекта к объекту, могут потребовать рассмотрения районов, удаленных от оцениваемой области.

Токсичность – величина, обратная абсолютному значению среднесмертельной дозы (концентрации). Токсичность характеризует степень несовместимости вещества с жизнью.

Токсичные (ядовитые) вещества/отходы – вещества, которые при попадании внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или кожу, способны вызвать смерть человека или оказать на него сильное отрицательное воздействие. Токсичные вещества имеют следующие характеристики: 1) средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 мг на килограмм массы живого организма до 200 мг на килограмм включительно; 2) средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 мг на килограмм массы живого организма до 400 мг на килограмм включительно; 3) средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 до 2 мг/л включительно. Высокотоксичные вещества имеют следующие характеристики: 1) средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 мг на килограмм массы живого организма; 2) средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 мг на килограмм массы живого организма; 3) средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 мг/л.

Управление риском (Risk management) – процесс принятия решений, использующий результаты оценки риска и включающий соображения технического, научного, социального, экономического и политического характера для обоснования наиболее оптимальных регулирующих действий в отношении загрязнения окружающей среды с целью предупреждения или уменьшения опасности для здоровья. Объединяет три основных процедуры: сравнительную характеристику риска, контроль воздействия и мониторинг риска. Управление риском – это система политических, технических, законодательных и нормативных решений, направленных на ликвидацию или существенное уменьшение риска для здоровья населения, которая принимается на базе результа-

тов оценки риска с учётом ранжирования его источников, сравнительной опасности (для индивидуума и для населения в целом) возможных неблагоприятных эффектов, численности подвергаемых риску популяций, а также всех тех факторов политики, экономики и общественного сознания, которые воздействуют на принятие решений в заданных условиях места и времени. Таким образом, управление риском – анализ рискованной ситуации и разработка решения, направленного на минимизацию риска.

Уровень воздействия, при котором не наблюдается вредный эффект (No observed adverse effect level, NOAEL) – наивысшая доза/концентрация, при которой не наблюдается вредного эффекта (аналогичен термину «максимальная недействующая доза/концентрация»).

Уровень экологической опасности отхода/класс опасности отхода для окружающей природной среды – это степень вредного воздействия отхода на окружающую природную среду и через нее на человека, отвечающая установленным критериям. Отходы по уровню экологической опасности для окружающей природной среды распределяются на пять классов: I – высоко опасные; II – опасные; III – умеренно опасные; IV – мало опасные; V – практически не опасные. Класс опасности отхода для окружающей природной среды (ОПС) устанавливается с целью определения и предотвращения потенциальных потерь качества ОПС под воздействием отхода. Класс опасности отходов определяется по данным химического состава (расчетные методы) и/или их экотоксичности (экспериментальные методы). Класс опасности отхода является качественной характеристикой потенциального экологического риска и риска здоровью человека при попадании отхода в окружающую природную среду.

Ущерб – математическое ожидание размера нежелательных последствий, то есть произведение вероятности и тяжести последствий события.

Ущерб здоровью человека – наблюдаемое или ожидаемое нарушение состояния здоровья человека или состояния здоровья будущих поколений, обусловленное воздействием факторов среды обитания. Ущерб характеризуется медико-социальной значимостью наблюдаемых или ожидаемых негативных последствий для жизни или здоровья человека и (или) будущих поколений, а также частотой случаев негативных последствий и их стоимостными оценками. Ущерб здо-

ровью человека – это сложное понятие, сочетающее вероятность, степень тяжести эффекта и время его проявления, величину которого можно выразить в числе лет полноценной жизни, потерянных в результате преждевременного заболевания или смерти, вызванных воздействием неблагоприятного фактора. Эффекты, измеряемые с помощью ущерба, выражаются числом дней острых заболеваний различного типа, числом случаев хронических заболеваний и числом смертей или потерянных лет жизни от преждевременной смерти. Однозначно это понятие определить не удастся.

Ущерб здоровью человека индивидуальный – показатель, выражаемый числом лет сокращения продолжительности жизни из-за преждевременной смерти или болезни; произведение коэффициента ущерба на дозу.

Ущерб здоровью человека популяционный: а) ожидаемое число потерянных человеко-лет здоровой жизни в результате воздействия неблагоприятного фактора; произведение коэффициента ущерба на численность группы (популяции) и на дозу; б) ожидаемое в группе (популяции) избыточное число случаев смерти или заболевания.

Фактор биоаккумуляции (Bioaccumulation factor) – отношение концентрации соединения в организме к его концентрации в объекте окружающей среды. Например, соотношение концентрации поллютанта в тканях гидробионта и в воде в состоянии равновесия.

Факторы риска (Risk factors) – факторы, провоцирующие или увеличивающие риск развития определенных заболеваний; некоторые факторы могут являться наследственными или приобретенными, но в любом случае их влияние проявляется при определенном воздействии.

Характеристика риска (Risk characterization) – завершающий этап оценки риска для здоровья – установление источников возникновения и степени выраженности рисков при конкретных сценариях и маршрутах воздействия изучаемых факторов. Как заключительный четвертый этап процедуры оценки риска он интегрирует информацию, полученную на предшествующих этапах, с целью ее последующего использования на первой стадии управления риском. Синтезируются данные предыдущих трёх этапов и связанных с ними неопределённостей для обоснования выводов в количественной, полуколичественной или описательной формах, которые должны быть переданы лицу или организации, принимающим решения в сфере экологической политики

и управления здоровьем населения, либо субъекту хозяйственной деятельности, по заказу которого проводилась оценка риска.

Хронический неканцерогенный эффект – токсический эффект, возникающий в условиях длительного вредного воздействия неканцерогенного фактора и приводящий к увеличению общей (первичной) заболеваемости популяции. Хроническое воздействие химических веществ на уровне малых концентраций (до 15 ПДК) характеризуется однотипными неспецифическими эффектами. При оценке хронического воздействия следует ориентироваться на оценку разумного (обоснованного) максимального воздействия. В качестве меры концентрации в точке воздействия для условий хронических экспозиций чаще всего используется 95%-ный верхний доверительный интервал средней арифметической величины за период усреднения концентрации. Средние величины концентраций (50-й перцентиль) применяются при относительно небольшом числе данных, а также в тех случаях, когда проект исходно был нацелен на оценку центральной тенденции.

Центральная тенденция (Central tendency) – статистический показатель, наиболее полно отражающий величины, наблюдаемые в выборке или популяции. К таким показателям относятся мода (наиболее часто встречающаяся величина), медиана (величина, занимающая середину в ряду ранжированных величин) и среднее значение (среднее арифметическое или среднее геометрическое значение). Экспозиция, соответствующая «центральной тенденции», используется для оценки усреднённого риска, которому подвергается население. Если имеются основания ожидать существенных различий и по «центральной тенденции» экспозиции между отдельными группами населения (субгруппами популяции), то она рассчитывается для таких групп отдельно. Наиболее типичный пример – раздельная оценка экспозиции детей и взрослых.

Частота новых случаев (Incidence) – это отношение числа лиц, у которых в течение определенного времени развилось изучаемое состояние, ко всем обследованным в группе, где исходно этого состояния никто не имел. Частота новых случаев болезни в популяции, где это заболевание исходно отсутствовало, называется заболеваемостью. Частота новых случаев исходов при определенном заболевании указывает соответственно на инвалидность или летальность при этом заболевании. Для оценки частоты новых случаев отбирают группу лиц без заболе-

вания (или без изучаемого исхода) и периодически обследуют ее, подсчитывая число новых случаев, появившихся за определенный период.

Частотное распределение (Frequency distribution) – величины, расположенные в порядке возрастания, и частота, с которой каждая величина встречается в популяции или выборке. Обычно представляется в виде графика, на котором по горизонтальной оси откладываются наблюдаемые величины, а по вертикальной – частоты, с которой эти величины наблюдаются.

Эквивалентная доза облучения органа или ткани – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения: $H_{T,R} = W_R D_{T,R}$, где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани Т (Гр), а W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R. Эквивалентная доза является функционалом, приводящим облучения органов и тканей человека любым излучением к эквивалентному по ущербу облучению стандартным редкоизирующим излучением. Единица эквивалентной дозы – зиверт (Зв).

Экологический риск (Ecological risk) – вероятность развития у растений и животных (кроме человека) неблагоприятных эффектов, обусловленных воздействием факторов окружающей среды. Это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной или иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера (статья 1 Федерального закона “Об охране окружающей среды” от 10 января 2002 г., № 7-ФЗ).

Экополлютант – химическое вещество, накапливающееся в среде в несвойственных ей количествах и являющееся причиной изменения естественного ксенобиотического профиля.

Экотоксикант – экополлютант, накопившийся в среде в количестве, достаточном для инициации токсического процесса в биоценозе (на любом уровне организации живой материи). Одна из сложнейших практических задач экотоксикологии – определение количественных параметров, при которых экополлютант трансформируется в экотоксикант. Считается, что вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, характеризуются в водной среде следующими показателями острой токсичности: 1) средняя смертельная концентрация при воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 мг/л; 2) средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при

воздействии на дафнии в течение 48 часов не более 10 мг/л; 3) средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 48 часов не более 10 мг/л.

Экотоксикодинамика – раздел экотоксикологии, рассматривающий конкретные механизмы развития и формы токсического процесса, вызванного действием экотоксикантов на биоценоз и/или отдельные виды, его составляющие.

Экотоксикокинетика – раздел экотоксикологии, рассматривающий поведение ксенобиотиков в окружающей среде: источники их появления; распределение в абиотических и биотических элементах окружающей среды; превращение ксенобиотика в среде обитания; элиминацию из окружающей среды.

Экотоксикология (Ecotoxicology) – междисциплинарное научное направление, связанное с токсическими эффектами химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем. Занимается выяснением механизмов (особенно биохимических и физиологических) токсического действия антропогенных факторов на живые организмы в природной среде. Экотоксикологию можно рассматривать как междисциплинарное направление, развивающееся на пограничных направлениях токсикологии, экологии, биологии, геохимии, почвоведения и других наук. Экотоксикология изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распространение и трансформацию в окружающей среде, действие на живые организмы. Содержанием дисциплины «Экотоксикология» является учение об экотоксичности, а основными рассматриваемыми вопросами – характеристика ксенобиотического профиля среды обитания, проблемы экотоксикокинетики, экотоксикодинамики, экотоксикометрии.

Экотоксикометрия – раздел экотоксикологии, в рамках которого рассматриваются методические приемы, позволяющие оценить (перспективно или ретроспективно) экотоксичность ксенобиотиков.

Экотоксичность – это способность данного ксенобиотического профиля среды вызывать неблагоприятные эффекты в соответствующем биоценозе.

Экотоксичные вещества/отходы – вещества или отходы, которые в случае попадания в окружающую среду представляют или могут немедленно или со временем представить угрозу для окружающей среды в

результате биоаккумуляции и/или оказывать токсичное воздействие на биотические системы. Экоотоксичность зависит не только от токсичности компонентов вещества/отхода, но и от степени их подвижности в ландшафтах (экосистемах). Основными механизмами попадания компонентов отхода в ландшафты являются испарение летучих веществ и выщелачивание. Любой тест на экотоксичность должен включать выщелачивание, которое проводится, как правило, водой с $\text{pH} = 5,6-7,0$ (вода, уравновешенная с атмосферным CO_2). Вода берётся в соотношении 10:1 к массе отхода. Экстракт впоследствии либо подвергается химическому анализу на содержание токсичных компонентов (практика Агентства по охране окружающей среды США), либо исследуется на биологических тест-объектах (практика ЕС). В качестве тест-объектов используются дафнии или одноклеточные водоросли.

Экспозиционная доза излучения – мера ионизационного действия фотонного излучения, определяемая по ионизации воздуха в условиях электронного равновесия как концентрация ионов одного знака в воздухе, равна отношению суммарного заряда всех ионов одного знака, созданных в воздухе излучением при полном торможении вторичных электронов и позитронов, образующихся в элементарном объёме, к массе воздуха в этом объёме. Единица экспозиционной дозы – один кулон на килограмм (Кл/кг). Ионизация просто измеряется воздушными ионизационными камерами, при этом воздух для широкого диапазона энергии рентгеновского и γ -излучения может служить хорошей моделью мышечной ткани при оценке ионизационного эффекта. В связи с тем что для часто встречающейся ситуации рентгеновского или гамма-облучения человека экспозиционная доза в воздухе около поверхности тела обычно близка к поглощенной дозе на поверхности тела, а также в связи с относительной легкостью измерения экспозиционной дозы, исторически сложившейся распространённостью соответствующих методических подходов и приборов, потребностью людей в преемственности результатов измерений, величина экспозиционной дозы до сих пор очень широко применяется на практике. Для других излучений, прежде всего, нейтронного, воздух ни в коей мере не является тканезквивалентной средой и понятие экспозиционной дозы неприменимо.

Экспозиция (Exposure) – мера выраженности воздействия, количество химического вещества; термин, обозначающий как простую констатацию воздействия вредного фактора, так и количественную

меру этого воздействия на индивидуальный организм или на группу, популяцию с учётом величины последней. Под экспозицией понимают контакт организма с вредным для здоровья химическим агентом; количество агента, присутствующее на обменных оболочках тела (например, на коже, в легких, желудочно-кишечном тракте), доступное для абсорбции; временной интеграл концентрации токсиканта, находящегося в непосредственной близости от различных входных путей организма (легкие, желудочно-кишечный тракт, кожа).

Экспонированная популяция – популяция, подвергающаяся воздействию вредного фактора. Численность экспонированной популяции является одним из важнейших факторов для решения вопроса о приоритетности природоохранных мероприятий, возникающего при использовании результатов оценки риска в целях «управления риском».

Эмбриотоксичность – токсический эффект у эмбриона и плода, включая структурные и функциональные нарушения или постнатальные проявления таких эффектов. Эмбриотоксические эффекты включают врожденные пороки развития, нарушения роста, внутриматочную гибель и повреждения постнатальных функций.

Эпидемиологический диагноз – логическая формула, в которой конкретная эпидемиологическая ситуация отражается в понятиях современной эпидемиологии. Если клинический диагноз – это врачебное заключение о сущности заболевания отдельного больного, то эпидемиологический диагноз – это оценка эпидемиологической ситуации и ее причин на конкретной территории среди определенных групп населения в изучаемый отрезок времени с целью реализации планирования и осуществления профилактических и противоэпидемиологических мероприятий и разработки эпидемиологического процесса (Б. Черкасский, 1990).

Эффективная доза облучения – величина, используемая как мера ущерба от возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты: $E = \sum W_T H_T$. Эффективная доза является функционалом, приводящим все возможные случаи неравномерного (внешнего или внутреннего) облучения тканей и органов тела человека к эквивалентному по ущербу равномерному облучению: облучению с равными эффективными дозами соответствуют равные ущербы. Эффективную дозу следу-

ет рассматривать как меру радиологического ущерба, не рассматривая возможность реализации этого ущерба в виде возникновения у облученного какого-то заболевания в оставшийся период жизни. Единица эффективной дозы – зиверт (Зв).

Эффективная коллективная доза облучения – мера коллективного ущерба от возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв). В области малых доз облучению с эффективной коллективной дозой 1 чел.-Зв соответствует ущерб, равный потере 1 чел.-год полноценной «коллективной» жизни облученного коллектива. Коллективную дозу следует использовать для сравнения последствий облучения разных групп людей при анализе соотношения «затраты-выгоды». За пределами области облучений с малыми дозами, в случае, когда эффективная доза, полученная в течение года, превышает 200 мЗв, коллективную дозу применять для оценки потенциальных последствий облучения не следует.

Эффективность проведения мероприятий, направленных на устранение или снижение риска здоровью, – медико-социальная и экономическая оценка последствий, связанных со снижением величины наблюдаемого или ожидаемого ущерба (вреда), обусловленного негативным воздействием факторов среды обитания.

Эффекты детерминированные – клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные неблагоприятным фактором, в отношении которых предполагается существование дозового порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы.

Эффекты стохастические – вредные биологические эффекты, вызванные неблагоприятным фактором, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления, как правило, не зависит от дозы.

СТАНДАРТНЫЕ ФАКТОРЫ ЭКСПОЗИЦИИ

Фактор экспозиции	Величина
<i>Продолжительность экспозиции</i>	
Хроническое воздействие (взрослые)	30 лет
Пожизненное воздействие (канцерогены)	70 лет
Хроническое воздействие, дети до 6 лет	6 лет
Средняя продолжительность жизни	70 лет
<i>Случайное заглатывание почвы</i>	
Показатель заглатывания почвы, возраст от 1 до 6 лет, сценарий жилой зоны	200 мг/день
То же, возраст 6 лет и более	100 мг/день 400 мг/день (верхний перцентиль)
Показатель заглатывания почвы, взрослый	50 мг/кг
То же, производственный сценарий, взрослый	50 мг/день
Контаминированная фракция заглатываемой почвы, сценарий жилой зоны	1,0
Частота экспозиции в год	350 (137 – 365)
Частота экспозиции, ребенок, лето	5 дней/нед., 13 нед./год
То же, весна и осень	3 дня/нед., 26 нед./год
Продолжительность экспозиции для почвы, сценарий жилой зоны, возраст от 1 до 6 лет	5 лет
Масса тела, возраст от 1 до 6 лет	15 – 16 кг
<i>Ингаляционная экспозиция</i>	
Скорость ингаляции, взрослый, общая характеристика	20 м ³ /день
Скорость ингаляции, взрослый, деятельность только внутри помещения	15 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок, возраст от 6 до 18 лет	20 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок, от рождения до 6 лет	4 м ³ /день
Скорость ингаляции, производственный сценарий, взрослый	10 м ³ /смена
Скорость ингаляции, ребенок до года	4,5 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок 12 лет	8,7 м ³ /день

Продолжение

Фактор экспозиции	Величина
Скорость ингаляции, взрослая женщина	11,3 м ³ /день
Скорость ингаляции, взрослый мужчина	15,2 м ³ /день
Скорость ингаляции при активной деятельности	0,018 м ³ /(кг·ч)
Скорость ингаляции во время отдыха	0,006 м ³ /(кг·ч)
Частота экспозиции, сценарий жилой зоны	350 дней/год
Частота экспозиции, производственный сценарий	250 дней/год
<i>Ингаляция пыли</i>	
Концентрация респираторных частиц в воздухе (хроническая экспозиция)	22 мкг/м ³
Концентрация респираторных частиц в воздухе (острая экспозиция)	60 мкг/м ³
Контаминированная фракция ингалируемой почвы (сценарий жилой зоны)	1,0
То же (производственный сценарий)	–
<i>Масса тела</i>	
Масса тела, ребенок от рождения до 6 лет	14 – 15 кг
Масса тела, ребенок, 6 – 18 лет	42 кг
Масса тела, взрослый, 18 лет и более	70 кг
<i>Потребление водопроводной воды</i>	
Потребление питьевой воды, сценарий жилой зоны, взрослый	2 л/день
Потребление питьевой воды, сценарий жилой зоны, возраст 6 – 18	1,5 л/день
Потребление питьевой воды, сценарий жилой зоны, возраст от рождения до 6 лет	0,67 – 1,0 л/день
Потребление питьевой воды, производственный сценарий	1 л/день
Частота экспозиции для питьевой воды, сценарий жилой зоны	350 дней/год
Частота экспозиции для питьевой воды, производственный сценарий	250 дней/год
<i>Случайное заглатывание поверхностных вод (плавание)</i>	
Показатель заглатывания поверхностной воды (плавание)	50 мл/день
Время воздействия (плавание)	0,5 – 2,6 ч/день

Окончание

Фактор экспозиции		Величина		
Частота экспозиции (плавание)		7 – 15 дней/год; 40 дней/год		
<i>Кожная экспозиция в воде</i>				
Площадь поверхности кожи, взрослый		1,82 м ²		
Площадь поверхности кожи, возраст 6 – 18 лет		1,31 м ²		
Площадь поверхности кожи, возраст от рождения до 6 лет		0,53 м ²		
Фракция кожи, подвергающаяся воздействию (плавание)		1,0		
Продолжительность экспозиции (плавание)		0,5 – 2,6 ч/день		
Частота экспозиции (плавание)		7 – 15 дней/год 40 дней/год		
<i>Фракции общей поверхности тела</i>				
Вид активности	Экспонируемые части тела	Фракции общей поверхности тела		
		Дети от рождения до 6 лет	Дети от рождения до 18 лет	Взрослые
Игра или легкая работа вне помещения, холодная погода	Голова, кисти рук	0,21	0,15	0,13
Игра или легкая работа вне помещения, теплая погода	Голова, кисти рук и предплечья, ноги	0,43	0,40	0,38

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Киселев, А. В.* Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды / А. В. Киселев, К. Б. Фридман. – СПб. : Дейта, 1997. – 104 с.
2. Методические рекомендации. Применение факторов канцерогенного потенциала при оценке риска воздействия химических веществ. – М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А.Н.Сысина РАМН, ММА имени И.М.Сеченова, Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 44 с. – ISBN 5-902586-01-1.
3. Методические рекомендации по обработке и анализу данных, необходимых для принятия решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения. Утверждены руководителем Департамента госсанэпиднадзора Минздрава России от 27 февраля 2001 года № 11-3/61-09. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2001.
4. Методические рекомендации. Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А.Н.Сысина РАМН, Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 56 с. – ISBN 5-902586-04-6.
5. Методические рекомендации. Критерии установления уровней минимального риска здоровью населения от загрязнения окружающей среды. – М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А.Н.Сысина РАМН, Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 40 с. – ISBN 5-902586-05-4.
6. Методические рекомендации. Расчет доз при оценке риска многосредового воздействия химических веществ. – М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А.Н.Сысина РАМН, ММА имени И.М.Сеченова, Консультационный Центр по оценке риска. Центр госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. – 28 с. – ISBN 5-902586-03-8
7. *Онищенко, Г. Г.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко и [др] ; под ред. Ю. А. Рахманина. – М. : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04). – М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

9. *Трифонова, Т. А.* Экологическая безопасность наночастиц, наноматериалов и нанотехнологий : учеб. пособие / Т. А. Трифонова, Л. А. Ширкин. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 63 с. – ISBN 978-5-89368-933-4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ	4
2. ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ	6
2.1. Идентификации опасности	7
2.2. Оценка зависимости «доза-ответ»	13
2.3. Оценка экспозиции	16
2.4. Характеристика риска для здоровья	20
3. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ	23
3.1. Ксенобиотический профиль среды	24
3.2. Экотоксикокинетика	25
3.3. Экотоксикодинамика	28
3.4. Экотоксикометрия	30
Контрольные вопросы	33
Заключение	35
Приложения	36
Библиографический список	76

Учебное издание

ШИРКИН Леонид Алексеевич
ТРИФОНОВА Татьяна Анатольевна

ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

Учебное пособие

Подписано в печать 28.09.11.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 90 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.